Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik

Carl Nägeli, Simon Schwendener, Hubert Leitgeb

[illegible]

-# 15.-

LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY

~~580.4~~
~~N141~~

part of pa.
~~#~~15.

LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY

Beiträge

zur

Wissenschaftlichen Botanik

von

Carl Nägeli,

Prof. in München.

Erstes Heft.

Das Wachsthum des Stammes und der Wurzel bei den Gefässpflanzen
und die Anordnung der Gefässstränge im Stengel.

Mit 19 lithographirten Tafeln.

Leipzig,
Verlag von Wilhelm Engelmann.
1858.

QK3
N14

235074

INHALT.

Pag.
Ueber das Wachsthum des Stammes und der Wurzel bei den Gefässpflanzen 1
Verschiedene Arten des Bildungs- und Dauergewebes. Meristem, Cambium, Gefässbündel 2
Ausscheidung und weiteres Verhalten des Cambiums. Verschiedenes Wachsthum der Fibrovasalmassen 6
Wachsthumstypen perennirender Stengeltheile 11
    I. Dicotyledonentypus mit unbegrenztem Cambiumring, ohne begrenzte Gefässstränge . . . . . —
    II. Ebenso, mit zerstreuten, begrenzten Strängen im Mark 14
    III. Dicotyledonentypus mit successiven begrenzten Cambiumringen in der Epenrinde (Phytolacca) . . . . . —
    IV. Ebenso, in der Protenrinde (Cocculus) 16
    V. Monocotyledonentypus mit begrenzter Bildung von Gefässsträngen (Chamaedorea) 19
    VI. Monocotyledonentypus mit unbegrenzter Bildung von Gefässsträngen (Calodracon) 21
Dickenwachsthum der Wurzeln 23
    Wurzeln der Dicotyledonen . . . . . —
        Brassica. Raphanus 25
        Phytolacca dioica Lin. 26
        Cocculus laurifolius DC. 28
    Wurzeln der Monocotyledonen . . . . . —
        Pandanus odoratissimus Lin. fil. 30
Längenwachsthum der Fibrovasalmassen 34
    in den Wurzeln . . . . . —
    in den Stengeln 35
        Gemeinsame, stammeigene und blatteigene Stränge . . . . . —
        Längenwachsthum der gemeinsamen Stränge und Bau derselben 36
        Abweichendes Verhalten bei einigen Pflanzen (Halorageen, Marsileaceen) . . . 38
Von der Beziehung zwischen der Anordnung der Gefässstränge im Stengel und der Blattstellung 39
    Verschiedenheit der Blattstellung im entwickelten Zustande, in der Knospe und bei der ursprünglichen Anlegung 40
    Die Anordnung der Stränge weicht mehr oder weniger von jeder Blattstellung ab . 42
        Iberis amara Lin. 44

Pag.
Verschiedenes Verhalten der Blattspurstränge im Stengel. Verschränkungen und Vereinigungen derselben . . . 46
Tangentialer und radialer Verlauf derselben . . . 47
Spezielle Aufzählung der Typen des Strangverlaufs . . . 51
Wurzeln . . . 52
Stengel. Psilotum triquetrum Sw. . . . —
Lycopodium clavatum Lin. und L. Selago Lin. . . . 53
Selaginella hortensis Mett. . . . —
Marsilea quadrifolia Lin. . . . 54
Pilularia globulifera Lin. . . . 55
Hippuris. Myriophyllum . . . 56
Callitriche vernalis Kütz . . . 57
Equisetum arvense Lin. . . . —
Coniferen . . . 58
1. Blätter schraubenständig. Blattspur 1strängig . . . —
Pinus sylvestris Lin. . . . —
Abies pectinata DC. . . . 59
2. Blätter schraubenständig. Blattspur 2strängig, nach unten 1strängig . . . —
Salisburia adiantifolia Sm. . . . —
3. Blätter opponirt oder quirlständig. Blattspur 1strängig . . . 60
Thuja occidentalis Lin. und Biota orientalis Endl. . . . —
Juniperus communis Lin. . . . —
Cupressus pendula Thunb. . . . —
4. Blätter gegenständig. Blattspur 2strängig. . . . 61
Ephedra vulgaris Rich. . . . —
Dicotyledonen. Stränge der Samenlappen . . . —
Dicotyledonen. Stränge der Laubregion mit radialsenkrechtem Verlauf . . . 63
1. Blätter schraubenständig. Blattspur 1strängig . . . —
Iberis amara Lin. . . . —
Jasminum fruticans Lin. . . . 64
Sarothamnus scoparius Koch . . . —
2. Blätter schraubenständig. Blattspur mehrsträngig, höchstens mit der 5. verschränktläufig . . . —
Lepidium sativum Lin. . . . 65
Impatiens Balsamina Lin. . . . —
Scopolina atropoides Schult. . . . —
3. Blätter schraubenständig. Blattspur 5strängig, mit der 3. und 5. verschränktläufig 68
Cocculus laurifolius DC. . . . —
4. Blätter schraubenständig. Blattspur 3strängig, mit der 2. und 3. verschränktläufig 69
Menispermum dauricum DC. . . . —
Ribes rubrum Lin. . . . 70
Prunus avium Lin. . . . 71
Erythrina cristagalli Lin. . . . —
Lupinus Lehmanni Hort. und L. luteus Lin. . . . —
5. Blätter schraubenständig. Blattspur 3strängig, mit der 1. und 2. verschränktläufig 73
Passiflora Vespertilio Lin. . . . —
Viola elatior Fries . . . 75
Tropaeolum majus Lin. . . . 76
Cucumis sativus Lin. . . . 77
6. Blätter schraubenständig. Blattspur 7strängig; alle Stränge mit denen der nächsten Spur sich verschränkend . . . —
Saururus cernuus Lin. . . . —

Pag.
7. Blätter schraubenständig. Blattspur 8strängig, am Rande vereintläufig 79
Liriodendron tulipiferum Lin. . . . . —
8. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur 3strängig, nur mit den Spuren der gleichen Zeile verschränktläufig 80
Hertia crassifolia Less. . . . . —
9. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen auch in der Terminalknospe genau opponirt. Blattspur 3strängig, mit den Spuren beider Zeilen verschränktläufig . . . . . . —
Aristolochia Clematitis Lin. . . . . —
Aristolochia Gigas Lindl. 81
Aristolochia Sipho Lin. 82
10. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen in der Terminalknospe einseitig-genähert. Blattspur 3strängig, mit den Spuren beider Zeilen verschränktläufig . . . . . . —
Medicago sativa Lin. 83
Lathyrus Nissolia Lin. 85
Lathyrus Aphaca Lin. und L. Pseudaphaca Boiss. 86
Lathyrus odoratus Lin. 87
Lathyrus purpureus Desf. 88
11. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur meist 5strängig; die Lateralstränge zweier successiver Blätter nicht vollständig-verschränkt . . . . —
Vitis vinifera Lin. . . . . —
Ampelopsis hederacea DC. 90
12. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur meist 5strängig; die Lateralstränge zweier successiver Blätter vollständig-verschränkt 91
Phaseolus vulgaris Lin. und Ph. multiflorus Lam. . . . . —
13. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen einseitig-genähert. Blattspur 7—9strängig; alle Stränge zweier successiver Blätter verschränkt. 92
Platanus occidentalis Lin. . . . . —
14. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur 10—13strängig; alle Stränge zweier successiver Blätter verschränkt 93
Menyanthes trifoliata Lin. . . . . —
15. Blätter opponirt. Spuren 1strängig 95
Fraxinus excelsior Lin. . . . . —
Vinca minor Lin. und V. major Lin. 96
Apocynum hypericifolium Ait. . . . . —
Phlox Spec. . . . . —
Veronica incisa Ait. . . . . —
Calluna vulgaris Sal. . . . . —
Hypericum quadrangulum Lin. und Androsaemum officinale All. . . . . —
Evonymus europaeus Lin. 97
Alsine laricifolia Wahlenb. . . . . —
Dianthus plumarius Lin. . . . . —
Spergula arvensis Lin. . . . . —
Cerastium frigidum Biebrst. und C. triviale Lin. 98
Galium Mollugo Lin. G. purpureum Lin. G. rubioides Lin. Rubia tinctorum Lin. 100
16. Blätter quirlständig. Spuren 1strängig 102
Trevirania longiflora Reg. Var. ilicifolia . . . . —
Russelia juncea Zuccar. . . . . —
17. Blätter gegenständig. Spuren 3- oder 4strängig, mit denen des erstuntern Paars vom zweituntern Knoten an vereintläufig (nicht verschränkt) 105
Antirrhinum majus Lin. . . . . —
Ruellia maculata Wall. 106
Bignonia serratifolia Vahl. . . . . —
Tecoma radicans Juss. 107

Pag.
18. Blätter gegenständig. Spuren 2strängig, nicht verschränkt 108
Stachys angustifolia Biebrst. . . . . —
Satureia variegata Host. . . . . —
Anagallis arvensis Lin. 109
19. Blätter gegenständig. Spuren 3strängig; die Lateralstränge mit denen des nächsten Paars verschränkt 110
Clematis Viticella Lin. und C. Vitalba Lin. . . . . —
Urtica Dodartii Lin. 111
Lonicera Spec. 112
Acer Pseudoplatanus Lin. . . . . —
Philadelphus coronarius Lin. 113
Tagetes lucida Cav. . . . . —
Tagetes signata Bartl. . . . . —
Humulus Lupulus Lin. 114
Centranthus ruber DC. 115
Aesculus macrostachya Michx. . . . . —
Euphorbia Lathyris Lin. . . . . —
20. Blätter gegenständig. Spuren 3strängig; die Lateralstränge des nämlichen Paars von Anfang an vereintläufig 116
Mercurialis annua Lin. und M. perennis Lin. . . . . —
21. Blätter gegenständig. Spuren 5strängig; die zweitseitlichen Stränge des nämlichen Paars von Anfang an vereintläufig 117
Sambucus nigra Lin. . . . . —
Dicotyledonen. Stränge der Laubregion mit radialschiefem Verlauf 118
1. Blattspur 3strängig. Die Lateralstränge radialsenkrecht; die Medianstränge einen Bogen durch das Mark beschreibend . . . . —
Phytolacca dioica Lin. . . . . —
2. 3 Stränge der Blattspur in das Mark eintretend und einen innern Kreis bildend . 119
Pisonia hirtella H. B. . . . . —
Boerhavia scandens Lin. 120
Bugenvillea spectabilis Willd. . . . . —
3. Der Medianstrang einzelner Blätter oder ein Theil desselben in das Mark eintretend und einen centralen Strang bildend 121
Nymphaea alba Lin. . . . . —
Monocotyledonen 122
Dioscorea Batatas Dcsne. 123
Tamus communis Lin. 124
Chamaedorea elatior Mart. 129
Cordyline congesta Steud. 134
Calodracon Jacquini Göpp. . . . . —
Erklärung der Tafeln 136
Berichtigung 156

Ueber das Wachsthum des Stammes und der Wurzel bei den Gefässpflanzen.

Die Gefässstränge gewähren dem Pflanzenphysiologen ein besonderes Interesse. Sie sind es, welche die Leitung der Säfte übernehmen, welche die Wurzelbildung bedingen, welche das Dickenwachsthum unserer Bäume vermitteln, in denselben oft schon nach wenigen Jahren das einzige lebenskräftige Gewebe liefern, und in den todten Zustand übergehend, das Holz bilden. Es hat daher dieser Gegenstand zu allen Zeiten vorzugsweise die Aufmerksamkeit der Botaniker auf sich gezogen, und die an denselben sich knüpfenden, mehr oder weniger allgemeinen Fragen haben fortwährend die wissenschaftliche Welt bewegt.

Die Anregung zu den Untersuchungen, deren Resultate ich hier mittheile, wurde durch einige Beobachtungen gegeben, die ich über das Wachsthum des Gefässstammes im Jahr 1847 (Zeitschrift f. wiss. Bot. Heft III. u. IV.) veröffentlichte. Ich hatte damals schon theils eine grosse Regelmässigkeit in dem Verlauf der Gefässstränge, theils merkwürdige Abweichungen der Blüthenregion von der Laubregion zu bemerken geglaubt. Die folgenden Jahre lieferten indess nur einzelne Beiträge; und erst im Jahr 1853 wurden diese Untersuchungen wieder mit mehr Musse aufgenommen, und mit wenigen Unterbrechungen bis auf die neueste Zeit fortgesetzt, wobei ich mich in den Jahren 1854 und 1855 der Unterstützung von Hr. Dr. Wartmann, 1857 von Hr. Dr. Schwendener erfreute. Zuerst handelte es sich um die Anordnung der Gefässstränge in den Laubsprossen, wobei immer mit ihrem ersten Auftreten in der Terminalknospe begonnen wurde. Diess führte auf ihre Entstehung und ihr Wachsthum, — auf das Dickenwachsthum des Stammes, — beim Studium der keimenden Pflanze auf den Verlauf und die Anlegung der Gefässstränge in der Wurzel. Ich gebe für einmal nur eine Uebersicht der bis jetzt gewonnenen Resultate, indem ich die ausführlicheren Mittheilungen, so wie eine grössere Auswahl von Abbildungen, für später versparen muss*).

---

*) Auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Bonn (Sept. 1857) theilte ich der botanischen Section die Ergebnisse der Untersuchungen über den Verlauf der Gefässstränge mit. Der Bericht darüber in der bot. Zeitung und in der Flora enthält einige Unrichtigkeiten, wie das wohl begreiflich ist nach einmaligem Anhören eines Vortrages, der einen umfangreichen Gegenstand in sehr kurzbemessener Zeit bewältigen und sich daher meist mit Andeutungen behelfen muss.

Die Organe der höhern Pflanzen bestehen anfänglich aus einem Gewebe, dessen Zellen in Vermehrung begriffen sind, indem sie sich wiederholt theilen. Dann hört die Zellenbildung in einzelnen Partien auf, während sie in andern fortdauert. Wir haben sonach zweierlei Gewebe. Das Erstere wird gewöhnlich als Bildungsgewebe bezeichnet; man könnte es, um seine Natur genauer auszudrücken, auch Theilungsgewebe nennen. Das Zweite, dessen Zellen ich früher als Dauerzellen unterschieden habe, ist sonach Dauergewebe, und ich will mich dieses Ausdruckes bedienen, obgleich er vielleicht passender den Gegensatz zu transitorischem Gewebe bilden, und für das fertige, sich nicht mehr verändernde Gewebe durch Standgewebe ersetzt würde.

Mit Rücksicht auf die Form zeigen die vegetativen Zellen eine Hauptverschiedenheit, an welche sich auch wichtige Differenzen in der Function knüpfen. Die Parenchymzellen sind meist isodiametrisch, zuweilen auch tafelförmig; die Prosenchymzellen dagegen sind in die Länge gezogen und oft vielmal länger als breit. Es giebt Uebergangsformen zwischen denselben. Indessen erkennt man die beiden Zellenarten, wenn sie einander ähnlich werden, noch lange daran, dass die sich in die Länge streckenden Parenchymzellen weiter sind und gerade Endflächen besitzen, während die sich verkürzenden Prosenchymzellen enger sind und geschärfte oder schiefe Enden zeigen. Mit dem letztern Charakter muss übrigens grosse Vorsicht geübt werden. Es giebt in den unterirdischen Theilen Holz, welches auf dem radialen Längsschnitt ganz wie verlängertes Parenchym aussieht, indem seine Zellen eine rechteckige Gestalt besitzen; der tangentiale Längsschnitt dagegen zeigt alle Zellen spindelförmig, und thut dadurch ihre Prosenchymnatur dar. Bei diesen Zellen laufen die Enden in eine scharfe Kante aus, während sie bei andern zugespitzt sind. — Zu dem Prosenchym im weitern Sinne können wir auch die Gefässe zählen.

Wie an dem Gewebe überhaupt zwei Formen zu unterscheiden sind, so giebt es auch hauptsächlich zwei Arten von Theilungsgewebe. Das Eine ist dasjenige, woraus anfänglich das ganze Organ besteht, und das auch oft noch späterhin, zuweilen zeitlebens thätig ist; ich will es Meristem nennen. Das Andere trägt seit längerer Zeit den Namen Cambium. Man hat zwar in neuerer Zeit (Schleiden, Schacht etc.) alles Bildungsgewebe Cambium geheissen. Für diese Verallgemeinerung des Begriffes liegt indess kein Grund vor, und sie würde nur dahin führen, dass man wieder verschiedene Arten von Cambium unterscheiden und zunächst diejenige als besondere Art abtrennen müsste, welche früher als Cambium schlechthin bezeichnet wurde.

Meristem und Cambium sind verschieden mit Rücksicht auf die Form und das Wachsthum der Zellen, die Theilungsrichtung und die Natur des aus ihnen hervorgehenden Dauergewebes. Die Cambiumzellen sind verlängert und haben, wie ich später zeigen werde, das Bestreben in der Richtung ihrer Achse (des langen Durchmessers) noch mehr in die Länge zu wachsen; sie schieben daher ihre Enden in einander und werden keilförmig oder spitz. Sie theilen sich vorzugsweise durch Wände, die mit ihrer Achse parallel sind; aus ihnen entsteht das Holz und der Bast. Die Meristemzellen sind parenchymatisch. Sie haben die Neigung sich eher durch Wände zu theilen, die ihren längsten Durchmesser halbiren. Ein selbständiges Wachsthum in einer bestimmten Richtung mangelt ihnen, und wenn das aus ihnen hervorgehende Parenchym zuweilen in der Achsenrichtung eines Stammtheiles verlängert ist, so rührt das daher, dass, nachdem die Theilung aufgehört hat, das ganze Organ noch vorzugsweise in die Länge gewachsen ist, — eine Erscheinung, die ich vorzugsweise auf Rechnung des vorhin erwähnten Wachsthums vom Cambium und jungen Prosenchym setzen möchte.

Unter dem Meristem giebt es selbst wieder nicht unbeträchtliche Verschiedenheiten. In dem einen Gewebe findet, verbunden mit allseitigem Wachsthum, die Theilung in allen Richtungen statt; in einem andern wechselt sie in den Richtungen einer Ebene; und in einem dritten sind die sich bildenden Scheidewände alle parallel, indem sie nur dazu dienen, dem einseitigen Wachsthum des Organs das Gleichgewicht zu halten. — In dem einen Gewebe folgen die Theilungen rasch auf einander; die Zellen sind dünnwandig, polyëdrisch, ohne Intercellularräume, mit unausgebildetem Inhalte. In einem andern Gewebe wiederholen sich die Theilungen nur nach längern Zwischenräumen; die Zellen sind ausgebildet, mit dickern Wandungen, mit Intercellularräumen, mit Chlorophyll, Stärke, Oel, Krystallen im Inhalte. Ich will sie als Jung- und Altmeristem unterscheiden. — Die Meristemgewebe sind endlich verschieden nach dem Product, das sie liefern. So zeichnen sich besonders das Markstrahlen- oder einfach Strahlenmeristem und das Korkmeristem aus; Letzteres will ich Phellogen nennen.

Die Unterscheidung dieser verschiedenen Arten von Theilungsgewebe ist um so nothwendiger, als wir sie zuweilen in dem nämlichen Organ gleichzeitig neben einander finden. So bestehen die jungen Theile aller Gefässpflanzen aus Meristem und Cambium; die Stämme und Wurzeln vieler Dicotyledonen haben einen Cambium- und einen Phellogenring; Stämme und Wurzeln von Phytolacca, Cocculus etc. besitzen einen Cambium-, einen Meristem- und einen Phellogenring.

Die Organe bestehen anfänglich ganz, und wenn das Wachsthum längere Zeit an einem Punkte fortdauert, wie diess bei Stengeln und Wurzeln der Fall ist, an diesem Punkte d. h. am Scheitel fortwährend aus Meristem, welches als Urmeristem bezeichnet, und von den Folgemeristemen unterschieden werden kann. In dem Urmeristem sind noch alle Gewebe vereinigt. Es ist selber ohne Zweifel nie vollkommen gleichartig; in einzelnen Fällen wenigstens gliedert es sich deutlich in peripherische und intercalare Theilung, welche beide nach eigenen Gesetzen vor sich gehen.

Aus dem Urmeristem scheidet sich bei den Gefässpflanzen zunächst das Cambium aus. Das Letztere befindet sich ohne Ausnahme im Innern, rings umschlossen von Folgemeristem, und berührt nirgends die Oberfläche. In der Richtung, in welcher seine Zellen verlängert sind, ist es immer auch als ganzes Gewebe in die Länge gezogen, und bildet entweder eine in der Achse des cylindrischen Organs verlaufende Masse von mehr oder weniger kreisförmigem Querschnitt

(Cambiumcylinder), oder extraaxile Fäden von verschiedenem Querschnitt (Cambiumstränge), oder einen die Achse concentrisch umschliessenden Mantel von kreisförmigem oder zusammengedrücktem Querschnitt (Cambiummantel, Cambiumring).

Aus dem Meristem, soweit dasselbe nicht zur Cambiumbildung verwendet wird, geht grösstentheils Parenchym, seltener auch Prosenchym hervor. Aus dem Cambium entsteht zum grössern Theil Prosenchym, zum geringern Parenchym. In dem ausgebildeten Zustand kann daher sehr häufig der Ursprung der Gewebe nicht mehr erkannt werden; die Unterscheidung ist dann nur durch die Entwicklungsgeschichte möglich. Diese Unterscheidung ist aber für die Morphologie der Gewebe von grosser Wichtigkeit. Ich will daher das Urmeristem und alle Partien des Gewebes, die unmittelbar von demselben (d. h. bloss durch Vermittelung von Folgemeristem, nicht aber von Cambium) herkommen, Protenchym, das Cambium hingegen und Alles, was direct oder indirect davon abstammt, Epenchym nennen, oder um kürzere Bezeichnungen zu haben Proten und Epen. Das Mark und die ausserhalb des Bastes befindliche Rinde bei den Dicotyledonenbäumen, alles Parenchym der Palmen, der Blätter etc., das Gewebe zwischen den Holzringen der Menispermaceen ist Protenparenchym. Die Rinde innerhalb des Bastes, das Gewebe, woraus die Hauptmasse des Rettigs, der weissen Rübe etc. besteht, das Parenchym zwischen den Holzringen von Phytolacca ist Epenparenchym. Die langgestreckten Zellen der Moose, Flechten, Pilze, Florideen, Fucoideen, im Collenchym der Phanerogamen etc. gehören dem Protenprosenchym an, insofern sie nicht langgestrecktes Parenchym sind.

Das Epenprosenchym bildet, wie das erzeugende Cambium, bald einen centralen Cylinder, bald Stränge, bald einen Mantel oder Ring. Es besteht aus Gefässen, Holz, Splint, Bast, Weichbast, und einem eigenthümlichen Gewebe, das ich Cambiform nennen will. Dieses ist das letzte Product des Cambiums, hat mit demselben die grösste Aehnlichkeit und unterscheidet sich fast nur dadurch, dass die Theilung aufgehört hat. Dieses erloschene Cambium wurde von Mohl als Vasa propria bezeichnet, später als Gitterzellen erklärt, und ist von Andern auch Cambium genannt worden. Es ist aber kein Bildungs- sondern ein Dauergewebe. — Die Holz-, Splint-, Bast- und Cambiformzellen werden häufig auch Fasern genannt. Man kann daher die Prosenchymmassen, je nachdem sie aus Gefässen, aus Fasern oder aus beiden bestehen, im Allgemeinen passend als Vasal-, Fibral- und Fibrovasal-Massen (Stränge, Cylinder, Mäntel oder Ringe) unterscheiden, abgesehen von der speciellern Bezeichnung als Bast-, Holz-, Splint- und Cambiform-Massen.

Man hat in neuerer Zeit fast alle der genannten Erscheinungen auf den Begriff des Gefässbündels zurückzuführen versucht. Der Name ist jedenfalls nicht glücklich gewählt, weil die Form des Bündels nicht immer vorhanden ist, und weil die Gefässe zuweilen ganz mangeln. Wollte man von dieser Incongruenz absehen, so wäre der Begriff des Gefässbündels zu bestimmen. Nach Schleiden ist dasselbe ein Strang von langgestreckten Zellen und kommt auch bei Moosen vor. Geben wir ihm diese Ausdehnung, so wäre kein Grund vorhanden, die Gefässbündel nicht auch bei Flechten, Pilzen, Florideen, Fucoideen anzunehmen, und sie überhaupt als synonym mit Prosenchymmassen zu erklären. Wollen wir aber an dem Gefässbündel als einer eigenthümlichen Erscheinung festhalten, so muss es den Gefässpflanzen reservirt und sein Begriff aus einigen Eigenschaften abgeleitet werden, welche zwar nicht immer, doch in den meisten Fällen vorhanden sind, namentlich aus der Eigenschaft, sich durch Cambium fortzubilden und Gefässe zu besitzen. Dafür scheint auch der Umstand zu sprechen, dass alle Gefässpflanzen ohne Ausnahme ächte Wurzeln haben, welche an den Gefässbündeln ihren Ursprung nehmen, und in ihrem Wachsthum selbst an dieselben erinnern. Schleiden sagt zwar von Ceratophyllum, welches Gefässbündel ohne Gefässe besitzt, es bleibe in jeder Beziehung völlig wurzellos. Diess ist aber unrichtig; denn die untern Stengeltheile von C. demersum tragen zuweilen die schönsten halbfusslangen und längern Wurzeln, welche zu 1 — 3 an einem Knoten befestigt sind und mehrere Seitenwurzeln bilden. Dagegen haben unter den Phanerogamen Lemna arrhiza und L. hyalina keine Gefässbündel und keine Wurzeln.

Der Name Gefässbündel dürfte wohl ganz entbehrlich sein. Da aber eine einmal eingebürgerte Bezeichnung nicht leicht aufgegeben wird, so muss sie doch auf die gefässführenden Strangbildungen beschränkt werden. Das Gewebe der Gefässbündel in ihrer allgemeinsten Bedeutung, von der eben gesprochen wurde, wird durch Epenprosenchym bezeichnet; denn dieser Begriff umfasst alle Prosenchymbildungen, die aus Cambium hervorgegangen sind, und hat überdem den Vorzug, dass er auch die Baststränge einschliesst. — Neben dem Bündel oder Strang müssen wir aber, wie bereits angegeben, auch den Cylinder und den Mantel oder Ring unterscheiden. Wenn man bisher nicht fast ausschliesslich die gewöhnlichen Stammtheile und Blätter, sondern auch die Entwicklungsgeschichte von Wurzeln und abweichenden Stengelbildungen berücksichtigt hätte, so könnte man unmöglich bloss von Bündel oder Strang sprechen.

Unter Gefässbündel versteht man ein Gebilde, das möglicher Weise zum geringsten Theil und fast gar nie ausschliesslich aus Gefässen besteht; dieser Ausdruck ist daher synonym mit Fibrovasalstrang. Neben demselben müssen wir aber auch Stränge unterscheiden, die bloss aus Gefässen gebildet sind; denn es kommt nicht selten vor, dass mehrere solche Stränge in einem fibrovasalen Strang, Cylinder oder Ring enthalten sind, und durch die Entwicklungsgeschichte, sowie durch ihr anatomisches Verhalten, sich als eigenthümliche Bildungen kund geben; ich habe sie, um Verwechslungen zu vermeiden, Vasalstränge genannt.

Wie entsteht das Cambium aus dem Urmeristem? Es ist diese Frage bisher wenig erörtert worden. Hanstein, nach welchem die Stammspitze aus Cambium besteht, sagt, dass einzelne Zellenstränge in cambialem Zustande verharren, während die Umgebung parenchymatisch werde. Schacht giebt eine ähnliche Darstellung; nach derselben bleibt unter dem aus Bildungsgewebe bestehenden Vegetationskegel zwischen Mark und Rinde ein Verdickungsring ebenfalls aus Bildungsgewebe thätig, und entstehen aus demselben die Gefässbündel. Nach diesen beiden Darstellungen würde es scheinen, als ob die Zellentheilung zuerst in Mark und Rinde aufhöre, und an bestimmten Stellen fortdauere, um Gefässbündel zu erzeugen. Diess wäre aber vollkommen unrichtig.

Stammspitze, Wurzelspitze und junges Blatt bestehen aus einem parenchymatischen Bildungsgewebe (Urmeristem), dessen Zellen alle ziemlich isodiametrisch und in Theilung begriffen sind. In diesem trüben, mit Protoplasma erfüllten Gewebe treten hellere Partien auf, bestehend aus verlängerten mehr hyalinen Zellen. Einzelne dieser letztern theilen sich nicht mehr und werden zu Gefässen oder auch zu Bastfasern, indess die andern sich vorzugsweise durch Längswände vermehren, und das Cambium darstellen. Das ganze übrige Gewebe bleibt aber noch einige und oft noch längere Zeit in lebhafter Vermehrung begriffen. Ich vermuthe, dass die ersten Gefässe und in vielen Fällen auch die ersten Bastzellen unmittelbar aus Urmeristemzellen hervorgehen, welche sich nicht weiter theilen und in die Länge wachsen. Es wäre indess möglich, aber nicht wahrscheinlich, dass immer zuerst eine Längstheilung vorausginge und somit das Urmeristem zuerst sich in Cambium umwandelte. Sicher ist, dass die ersten Zellen eines Gewebes, in denen die Theilung aufhört, dem Prosenchym (den Gefässbündeln) angehören, und in manchen Fällen lässt sich nachweisen, dass, nachdem die Theilung in den ersten Gefässen oder Bastzellen aufgehört hat, jede Rinden- und Markzelle noch 10, 20 und 30 in der Längsrichtung hinter einander liegende Zellen erzeugt, abgesehen von den gleichzeitigen Theilungen durch tangentiale und radiale Längswände. — Wenn aber auch die ersten Gefässe und Bastfasern unmittelbar aus dem Urmeristem entstehen, so müssen wir die Fibrovasalmassen doch schlechthin als Epenprosenchym bezeichnen, weil alle folgenden Gefässe und Basstränge aus Cambium gebildet werden, und weil auch jene ersten Dauerelemente schon das dem Cambium und dem Epenprosenchym eigenthümliche Längenwachsthum in ausgezeichneter Weise besitzen.

Das erste Stadium der aus dem Urmeristem entspringenden Cambiumpartien zeigt uns also verlängerte schmale Zellen, von denen die einen nicht mehr, die andern vorzugsweise durch Längswände sich theilen. In den letztern treten aber auch Querwände auf, und so kommt es, dass die zuerst sich ausbildenden Elemente einer Prosenchymmasse die längsten sind, und dass die übrigen, wie sie bis zu einem bestimmten Stadium der Zeit nach auf einander folgen, kürzer werden. Es ist bekannt, dass man diess vorzugsweise an den Gefässzellen beobachtet, so wie auch, dass die zuerst sich entwickelnden Gefässe (abrollbare) Spiral- oder Ringfasern, die spätern (nicht abrollbare) Netzfasern oder Poren besitzen. Mit

Rücksicht auf diese Verschiedenheit der Gefässe ist namentlich hervorzuheben, dass in der Regel ein Organ, so lange es in die Länge wächst, nur abrollbare, nachher nur unabrollbare Gefässe bildet; daher unterirdische Theile, die wenig sich verlängern, zuweilen beinahe oder gar keine der Erstern, Blätter dagegen mit geringem Dickenwachsthum keine der Letztern enthalten.

Ein gleiches Verhältniss beobachtet man auch an andern Elementen der Prosenchymmassen; so namentlich am Bast, dessen Fasern um so länger werden, je früher sie vor dem Zeitpuncte entstehen, in welchem das Längenwachsthum des Organs aufhört. Ja viele Stammtheile bilden überhaupt nur vor diesem Zeitpuncte Bast; und den unterirdischen Theilen mit geringem Längenwachsthum mangelt er meist gänzlich.

Von dem Momente an, wo das Längenwachsthum eines Organs aufgehört hat, entstehen in dem Epenprosenchym nur Theile (Gefässzellen und Holzzellen) von ungefähr gleicher Länge; und wenn ein Baum noch so lange in die Dicke wächst, so sind die Elemente seines letzten Jahrringes so lang als diejenigen seines zweiten und selbst seines ersten mit Ausschluss der Markscheide. Diese Thatsache scheint sich auf den ersten Anblick dadurch zu erklären, dass die Cambiumzellen sich bloss durch Längswände theilen, und daher fortwährend ihre gleiche Länge behalten. Untersucht man indess das Cambium genau, was namentlich auf tangentialen Längsschnitten oft leicht möglich ist, so sieht man in demselben gar nicht selten horizontale oder schiefe Querwände. Nehmen wir an, dass nur auf 10 bis 20 Längstheilungen je eine Quertheilung erfolge (und offenbar tritt die letztere manchmal viel häufiger ein), so müssten die Cambiumzellen bald kurz werden und bloss Parenchym bilden. Diess wird durch das ihnen und den aus ihnen hervorgehenden Elementen zukommende selbständige Längenwachsthum verhindert. In der That sieht man, wie die zum Theil noch horizontalen Wände des Cambiums in dem Splint alle schief geworden sind, und wie die Cambiumzellen, welche die Gestalt einer halbirten Spindel hatten, zu spindelförmigen Splintzellen werden, indem sie sich in die Länge dehnen und ihre Enden neben einander vorbeischieben. Beide Prozesse, das Längenwachsthum und die Theilung durch Querwände, halten sich das Gleichgewicht, so dass innerhalb gewisser Grenzen die Länge der Elemente durch alle Jahrringe des Holzes die nämliche bleibt. — Es ist eine constante Erscheinung, dass die Gefässzellen etwas kürzer sind als die nach aussen und nach innen an dieselben angrenzenden Holzzellen, obgleich beide ursprünglich aus Einer Cambiumzelle hervorgegangen sind. Der Grund davon ist, dass die weiten, in senkrechten Reihen über einander stehenden Gefässzellen weniger leicht sich bei einander vorbeischieben können als die schmalen Holzzellen; daher jene wenig schiefe Querwände haben, diese dagegen in längere Spitzen ausgezogen sind.

Man beobachtet in der Regel, dass die Elemente des Epenprosenchyms, welche auf dem Querschnitt neben einander liegen, sich ungleichzeitig entwickeln. Schleiden hat daher succedane Gefässbündel im Gegensatz von simultanen, bei denen alle Theile zu gleicher Zeit entstehen und ausgebildet werden, unterschieden.

Die Letztern sollen den Cryptogamen eigenthümlich sein. Es ist indess gewiss, dass auch manche Cryptogamen succedane Gefässbündel besitzen, an denen man die ungleichzeitige Ausbildung sowie auch einen verschiedenen Bau der Gefässe in der Dicke eines Bündels beobachten kann, wie das auch bereits von Schacht hervorgehoben worden ist. Ich nenne die Lycopodiaceen und die Marsileaceen als deutliche Beispiele, und weiss überhaupt nicht, ob es wirklich simultane Gefässstränge giebt. Allerdings unterscheiden sich diejenigen im Stamm und in den Blättern der Farren von denen der gleichnamigen Theile bei den meisten Phanerogamen dadurch, dass sie aus gleichen (porösen) Gefässen bestehen; aber diesen Bau finden wir auch bei langsam wachsenden unterirdischen Organen der Phanerogamen. Jedenfalls dürfte es zweckmässig erscheinen, diese Verschiedenheit durch eine besondere Bezeichnung festzuhalten, und die mit lauter gleichen Gefässen begabten Fibrovasalmassen isosiphone im Gegensatz zu heterosiphonen zu nennen.

Schleiden hat ferner zwischen geschlossenen (begrenzten) und ungeschlossenen (unbegrenzten) Gefässbündeln unterschieden, und jene schlechthin als monocotyledone, diese als dicotyledone Gefässbündel bezeichnet. Manche Autoren sind diesem Beispiele gefolgt. So richtig die Unterscheidung der beiden Arten von Cambium rücksichtlich der Dauer ist, so unrichtig ist es dagegen, wenn man dasjenige der Dicotyledonen allgemein als unbegrenzt bezeichnet. Es passt dieser Ausdruck nur für die Stengel, Wurzeln und vielleicht auch Blätter mancher Dicotyledonen. Einer grossen Zahl dieser Gewächse mangelt das unbegrenzte Cambium gänzlich. Viele andere besitzen es nur in den ausdauernden Organen, nicht aber in denjenigen Theilen, welche im Herbst absterben, was man leicht daraus erkennt, dass oft schon im Sommer das Cambium zuerst in den Blättern und Blüthenstielen, dann in den Stengeln, bei den einjährigen Arten auch in den unterirdischen Theilen gänzlich verschwindet. Mit Rücksicht auf diese Thatsachen dürfen wir wohl sagen, dass auch bei den Dicotyledonen die grössere Zahl der Gefässbündel begrenzt ist, das heisst schon im ersten Jahre aufhört in die Dicke zu wachsen.

Verfolgen wir das Verhalten einer Cambiummasse von ihrem ersten Auftreten bis zum Schlusse auf dem nämlichen Querschnitt, so finden wir erstlich in vielen Fällen, dass nach kurzer Zeit alle Elemente derselben in Dauerzellen übergegangen sind, so dass keine Spur von Cambium auch nicht einmal als Cambiform übrig geblieben ist. Wir können solche Fibrovasalmassen als cambiformlose bezeichnen. Wir finden sie vorzüglich bei den Gefässcryptogamen. — Bei den Phanerogamen hingegen bleibt eine Partie des Cambiums während längerer Zeit zurück; und zwar ist es an einer ganzen Epenmasse wohl ohne Ausnahme der in ihrem Innern gelegene Theil, dessen Zellen in Vermehrung beharren. Wir können also im Allgemeinen sagen, dass das Cambium der Phanerogamen an der Peripherie seines Querschnittes in Dauergewebe übergeht, in der Mitte desselben aber im Zustande des Bildungsgewebes verbleibt. Wir treffen aber, abgesehen von der begrenzten und unbegrenzten Dauer dieses Prozesses, eine wesentliche

Verschiedenheit, welche mir die Monocotyledonen und Dicotyledonen ziemlich genau zu trennen scheint.

Bei den Monocotyledonen geht schon sehr frühe die ganze Peripherie eines Cambiumstranges in Dauergewebe über; und das Cambium, später das Cambiform, ist eine mehr oder weniger centrale Masse in seinem Fibrovasalstrang. Hier sind die verschiedenen Elemente des letztern auch nicht so scharf geschieden. Die Gefässbildung beginnt zwar in der Regel auf einer Seite des Stranges und bleibt zuweilen auf diese Seite beschränkt. In andern Fällen aber schreitet sie, in 2 Schenkel sich spaltend, rechts und links neben dem Cambium vorbei; sie kann selbst auf der entgegengesetzten Seite sich zu einem vollständigen Ringe schliessen, so dass also das Cambium das eine Mal von 3 Seiten, bei Calodracon aber ringsum von Gefässen umschlossen ist. Eben so verhält es sich mit dem Baste, welcher häufig nur auf der den Gefässen abgewendeten Seite, zuweilen aber auch ringsum auftritt. Wir können solche Fibrovasalstränge mit umschlossenem Cambium nennen. — Bei den Dicotyledonen ist die innere und äussere Seite der Cambiummasse scharf geschieden; die innere Seite bildet allein Gefässe. Das Cambium erscheint auf dem Querschnitt als ein spaltenförmiger Querstreifen, welcher an seinen beiden Enden bei unbegrenztem Wachsthum gar nicht, und bei begrenztem erst spät in Dauergewebe übergeht; und daher in den Fibrovasalsträngen gewöhnlich rechts und links zu Tage tritt. Wir können sie als solche mit offenem Cambium bezeichnen. — Dieses verschiedene Verhalten des Cambiums ist der Grund, warum die Fibrovasalstränge der Monocotyledonen, wenn sie auch noch so gedrängt beisammen stehen, doch nicht sich vereinigen, während diejenigen der Dicotyledonen schon bei weniger dichter Stellung, und selbst wenn die Anordnung nicht genau concentrisch ist, zu einem Ring verschmelzen.

Bei den Dicotyledonen ist das charakteristische Product der äussern Seite des Cambiums die Sieb- oder Gitterzellen und der Bast, der innern Seite die Gefässe und das Holz. Ich will die beiden Partien Dauergewebe, welche von dem Cambium nach aussen und nach innen gebildet werden, Phloëm und Xylem nennen. Das Phloëm besteht aus Parenchym, Bast, Weichbast und Gitterzellen; das Xylem aus Gefässen, Holz, Splint und Parenchym. Ich schlage diese Terminologie vor, um dem Holz und dem Baste seine bisherige Bedeutung zu lassen. Denn es ist dem Sprachgebrauche doch allzu widerstrebend, das weiche und zarte Gewebe der Rübe, des Rettigs, der Kohlrabi, Kartoffeln etc. Holz oder Holztheil, das kurzzellige brüchige Gewebe vieler Rinden Bast oder Basttheil zu nennen.

Die Prosenchymmassen entsprechen zuweilen genau den ursprünglichen Cambiummassen, aus denen sie hervorgegangen sind; so dass aus einem Cambiumcylinder, aus einem Cambiumring oder aus einer bestimmten Zahl von Cambiumsträngen ebenfalls ein prosenchymatoser Cylinder, Ring oder eine gleiche Zahl von Strängen entsteht. Sehr häufig gehen Veränderungen in den räumlichen Verhältnissen vor; wir können sie unter den beiden Gesichtspuncten der Trennung und der Verschmelzung zusammenfassen. Die Trennung geschieht dadurch, dass ein Theil des Cambiums in Parenchym übergeht, welches die Prosenchymmasse mehr oder weniger vollständig und in eine grössere oder geringere Zahl von Prosenchymmassen theilt. So zerfallen im Innern der Wurzeln von Pandanus die Cambiumstränge und die aus ihnen hervorgehenden ursprünglichen Fibrovasalstränge in einen Complex von getrennten Strängen, deren Zahl 30 und mehr betragen kann. Der Xylemtheil des dicotyledonen Fibrovasalstranges wird gewöhnlich durch die parenchymatischen Markstrahlen fächerartig gespalten; zuweilen zerfällt er, indem auch in tangentialer Richtung Parenchym eingeschoben wird, in viele vollständig geschiedene Fibrovasal- und Fibralstränge. Der Phloëmtheil wird in der Regel durch zwischengelagertes Parenchym von dem Xylemstrang abgetrennt, und kann auch selber mehrere oder viele Stränge enthalten.

Das Verschmelzen von ursprünglich getrennten Cambium- und Fibrovasalmassen geschieht dadurch, dass das zwischenliegende Parenchym sich ebenfalls in Cambium verwandelt. So vereinigen sich zwei sehr nahe liegende Cambiumstränge zu einem einzigen, und bilden einen ungetheilten Fibrovasalstrang, was bei Cryptogamen, Monocotyledonen und Dicotyledonen vorkommt. Ferner vereinigen sich zuweilen im Dicotyledonenstengel die in einem Kreise stehenden Cambiumstränge, oder das Cambium der im Kreise stehenden Fibrovasalstränge, zu einem Ringe.

In den Fibrovasalmassen, bei denen das Dickenwachsthum ungleichzeitig erfolgt, beginnt die Gefässbildung auf einem oder zugleich auf mehreren Puncten, und schreitet von da aus in bestimmten Richtungen fort. Wir können hinsichtlich des erstern Merkmals die Massen als monarche, diarche, triarche, tetrarche, polyarche unterscheiden. Was die Richtung betrifft, in welcher die Gefässbildung eintritt, so ist sie erstens entweder einseitig (was fast in allen Strängen der Fall ist) oder allseitig (was in den Cylindern, Ringen und ausnahmsweise auch in den Strängen vorkommt), und zweitens entweder centrifugal oder centripetal. Die Stränge in den Stengeln und Blättern der Phanerogamen haben einseitige centrifugale, — die Stränge in den Wurzeln mancher Monocotyledonen einseitige centripetale, — der Cylinder im Stengel von Lycopodium, der Cylinder oder Ring in den Wurzeln der Monocotyledonen, viele Stränge in den Wurzeln von Pandanus allseitige centripetale, — der Cylinder in den Wurzeln der Dicotyledonen allseitige, zuerst centripetale nachher centrifugale Gefässbildung. Monarche Fibrovasalmassen haben ein allgemeines Vorkommen, polyarche kommen in den Stengeln von Lycopodium, in Stengeln und Blättern von Marsileaceen und andern Cryptogamen, sowie auch in den Wurzeln von Monocotyledonen vor.

Die Gefässbildung, die auf einem Puncte beginnt, schreitet zuweilen in einer Linie fort; so dass der Querschnitt durch den Fibrovasalstrang einen einfachen Streifen von Gefässen zeigt. Nicht selten indessen spaltet sich die centrifugale Gefässbildung, und setzt sich, nachdem sie auf einem Puncte begonnen, später auf 2 oder mehrern Puncten fort, so dass der Querschnitt einen zweischenkeligen oder auch einen wiederholt dichotomischen oder fächerartig getheilten

Streifen von Gefässen aufweist. Bei Monocotyledonen und Dicotyledonen ist diese Erscheinung nicht selten. — Umgekehrt findet bei polyarchen Fibrovasalmassen, wenn die Gefässbildung centripetal ist, häufig ein Verschmelzen statt, so dass dieselbe auf 2, 3, 4 und mehr Puncten beginnend, zuletzt auf einem gemeinschaftlichen Punct anlangt. Die Wurzeln der Monocotyledonen und Dicotyledonen geben hiefür viele Beispiele. Der Querschnitt zeigt uns dann ebenfalls dichotomische und trichotomische Vasalstreifen, wenn sie auf einem excentrischen Punct zusammentreffen; vereinigen sie sich im Centrum, so entsteht aus 2 anfänglich getrennten Vasalbündeln ein einfacher Streifen, aus 3 oder 4 dagegen ein Dreieck oder ein Kreuz.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen über die Veränderungen im Gewebe der Gefässpflanzen will ich einige spezielle Typen des Wachsthums hervorheben.

I. Dicotyledonen-Typus mit unbegrenztem Cambiumring (ohne begrenzte Fibrovasalstränge).

Es ist diess, was gewöhnlich als Wachsthum des Dicotyledonenstammes bezeichnet wird. Ich erwähne seiner hauptsächlich nur desswegen, um die folgenden zwei Typen damit zu vergleichen. In dem Urmeristem der Stammspitze scheidet sich ein Kreis von Cambiumsträngen aus. Diess geschieht nie gleichzeitig, sondern in einer bestimmten Zeitfolge, von der ich später (bei der Anordnung der Gefässstränge) sprechen werde. Von diesen Strängen verschmelzen die näher beisammen liegenden, während die entfernter stehenden durch Meristem getrennt bleiben, aus welchem sich die sog. grossen Markstrahlen entwickeln. Seltener vereinigen sich alle Cambiumbündel zu einem ununterbrochenen Ring. Durch das Auftreten eines Kreises von Cambiumsträngen wird das Urmeristem in Mark- und Rindenmeristem geschieden. Beides bleibt noch einige Zeit thätig, wobei sich vorzugsweise Querwände bilden. Das Markmeristem, in welchem ausserdem ziemlich spärliche radiale und tangentiale Längswände auftreten, geht zuerst in Dauergewebe über; viel später das Rindenmeristem, in welchem (ausser den Querwänden) auch zahlreiche radiale Längswände sich bilden, weil durch die Bildung von Epen (Xylem und Phloëm) die Protenrinde beträchtlich ausgedehnt wird.

Der Cambiumring sammt dem seine Lücken ausfüllenden Meristem beharrt in den Stammtheilen mit unbegrenzter Entwicklung fortwährend im Zustande des Bildungsgewebes. Aus dem Meristem, welches wir desshalb Strahlenmeristem nennen können, gehen die sog. grossen oder primären Markstrahlen hervor, die wir passender als durchgehende Parenchymstrahlen bezeichnen, im Gegensatz zu den unvollständigen, welche nur einen Theil des Xylems und Phloëms durchbrechen und daher nicht bis zum Protenmark und zur Protenrinde reichen. Jeder Parenchymstrahl hat 2 Hälften, eine innere oder den **Markstrahl** und eine äussere oder den **Rindenstrahl**.

Der aus dem Urmeristem sich ausscheidende Ring von Cambium und Strahlenmeristem bildet nach innen Xylem und Markstrahlenparenchym. Sowie er an Umfang zunimmt, so gehen einzelne Cambiumzellen (bald nur eine einzige, bald 2 oder mehrere, neben und über einander befindliche), in Folge wiederholter Quertheilung und mangelnden Längenwachsthums, in Strahlenmeristem über, und bilden den Anfang der unvollständigen Parenchymstrahlen. Der Anordnung der Markstrahlen entspricht die Theilung des Xylemringes in vollständige und unvollständige Xylemstrahlen.

Der primäre oder Markscheidentheil des Xylems zeichnet sich immer durch die Anwesenheit von abrollbaren Gefässen aus, und zeigt eine eckige Begrenzung nach innen, indem die am meisten vorspringenden Ecken den zuerst im Urmeristem entstandenen Cambiumsträngen entsprechen. Der ganze übrige oder secundäre Theil des Xylems hat beim Coniferentypus keine, beim Laubholztypus nur poröse Gefässe.

Das ganze secundäre Xylem besteht gewöhnlich aus Holz, welches bloss durch die Markstrahlen fächerartig gespalten ist (Holzstrahlen). Zuweilen indess geht ein grösserer oder kleinerer Theil desselben in Parenchym über, indem schon die Cambiumzelle, in welcher so eben die Theilung durch Längswände aufgehört hat, oder erst die Splintzelle durch Querwände sich in mehrere über einander liegende kurze Zellen theilt. Je später diese Theilung eintritt, um so deutlicher erkennt man noch im entwickelten Zustande den Ursprung der spindelförmigen Zellenreihen, welche mit den ungetheilten Holzzellen gleiche Form und Länge haben, und oft wegen der verdickten Wandungen denselben noch ähnlicher sind. Ich möchte für dieses eigenthümliche Gewebe den Namen **Holzparenchym** (dickwandiges und dünnwandiges) reserviren. — Durch die Parenchymbildung werden die Holzstrahlen in Stränge mit radialer Anordnung getrennt; und je mehr die Parenchymbildung vorwiegt, um so mehr wird das Xylem zu einem markähnlichen Gewebe mit eingestreuten Fibrovasalbündeln. In diesem Falle haben wir ein sich fortwährend vergrösserndes Mark, in welchem der ursprüngliche Theil, das Protenmark, von dem aus dem Cambium hervorgegangenen Epenmark nicht mehr unterschieden werden kann (Kohlrabi, Kartoffeln).

Nach aussen bildet der Cambiumring Phloëm, welches häufig aus dickwandigem und dünnwandigem Bast, aus Gitterzellen, und immer aus Parenchym besteht, und von den (durchgehenden und unvollständigen) Rindenstrahlen durchbrochen wird. Das Parenchym, insofern es nicht unmittelbar aus dem Strahlenmeristem hervorgeht, wird durch Quertheilung der Cambium- und der jungen Bastzellen gebildet. Im letztern Fall erkennt man oft noch sehr deutlich die spindelförmigen, den Bastfasern entsprechenden Zellenreihen; dieses Gewebe dürfte passender Weise den Namen **Bastparenchym** (dickwandiges und dünnwandiges) tragen, im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Rindenparenchym. — Das Phloëmparenchym ist Epenrinde; es wird von der Protenrinde, von welcher es anatomisch und physiologisch sich nicht weiter unterscheidet, zuweilen durch den primären Bast abgegrenzt. Abgesehen von den Querwänden, welche das Cambium in Rindenparenchym verwandeln, theilen sich die Zellen, wie die der Protenrinde, eine Zeit lang durch radiale, selten auch durch tangentiale Längswände, und gehen dann nur in Dauerparenchym über, um bald von der Phellogenbildung ergriffen und in Periderm und Borke verwandelt zu werden.

Ich muss noch einige Bemerkungen über die morphologischen Verhältnisse des Cambiumringes beifügen, dessen Eigenthümlichkeiten das charakteristische Merkmal dieses Typus darstellen. Derselbe scheidet sich, wie ich angegeben habe, als ein Kreis von getrennten Cambiumsträngen aus dem Urmeristem aus; und ich glaube, dass diess fast ohne Ausnahme seine Entstehungsgeschichte ist. Schacht lässt zuerst den Verdickungsring und in demselben die Cambiumbündel auftreten (Anat. u. Phys. Pag. 204, 296), was nicht mit den frühesten Zuständen in der Terminalknospe übereinstimmt. Auch das spätere Verhalten spricht dagegen. Denn bekanntlich ist der Theil der Markstrahlen, welcher in der Markscheide liegt, nicht vom Marke verschieden; er kann, wie Chatin vorgeschlagen hat, als Markverbindungen unterschieden werden. Zuweilen mangeln die Parenchymstrahlen ganz, und die Fibrovasalstränge sind bloss durch Markverbindungen getrennt. Die letztern entstehen aus dem Urmeristem, die Mark- und Rindenstrahlen dagegen aus dem Strahlenmeristem (dem Verdickungsring von Schacht, welcher also bei den Dicotyledonen erst nach den Cambiumsträngen beginnt, und zuweilen auch vollständig ausbleibt).

Der Name Cambiumring ist nicht ganz passend, weil er meistens nicht bloss aus Cambium besteht. Eigentlich wäre es ein Cambiummeristemring. Allein da eine Verwechslung nicht möglich ist, so habe ich die Benennung des Ganzen nach dem Theil für erlaubt angesehn. — Der Cambiumring besteht nur selten ununterbrochen aus Cambium; gewöhnlich ist er von Meristem unterbrochen, welches in einzelnen Fällen selbst weitaus den grössten Theil des Umfanges einnehmen kann. — In der Regel bildet das Cambium fortwährend neues Cambium und das Meristem neues Meristem, wesswegen sich die Holzstrahlen und die Markstrahlen ohne Unterbrechung fortsetzen. Allein einerseits geht, wie bemerkt, regelmässig ein Theil des Cambiums in Meristembildung über, um dann in derselben zu beharren, wodurch die unvollständigen Parenchymstrahlen gebildet werden. Andrerseits geht auch das Meristem in Cambium über. Diess beobachtet man namentlich in den ersten Stadien; wenn die Cambium- und Gefässstränge weit aus einander liegen, so entstehen neue zwischen denselben mitten in dem Meristemtheil des Ringes. Endlich scheinen in einzelnen Organen mit überwiegender Parenchymbildung die Cambiumtheile des Ringes zeitweise auf die Meristembildung zurückzusinken, um sich dann wieder zur Cambiumbildung zu erheben. — So finden wir also im Cambiumring zwar eine bestimmte Beharrung, aber ebenso einen regelmässigen Uebergang des einen Elementartheils in den andern.

Meristembildung und Cambiumbildung sind daher im gewöhnlichen Dicotyledonentypus bis auf einen gewissen Punct von einander unabhängig. Sie sind es noch viel mehr, wenn die Gefässpflanzen im Allgemeinen betrachtet werden. Der Theorie von Schacht, dass die Anwesenheit seines »Verdickungs- oder Cambiumrings«, unter welchem er nur den parenchymbildenden Meristemring mit Ausschluss des Cambiums der Gefässstränge versteht, die unbegrenzte Dauer der letztern bei den Dicotyledonen bedinge, und dass die Abwesenheit desselben die Gefässstränge der Monocotyledonen begrenzt lasse, widersprechen die Erscheinungen, welche uns die folgenden Typen zeigen, namentlich das Factum, dass bei den Dracaenen die Cambiumstränge, obgleich sie, wie beim gewöhnlichen Dicotyledonentypus, im Meristemring liegen, doch zu begrenzten Gefässsträngen werden. Seine andere Theorie, dass in dem »Verdickungs- oder Cambiumring« keine neuen Gefässstränge entstehen, wird schon durch zahlreiche Thatsachen im gewöhnlichen Dicotyledonentypus, besonders aber durch Phytolacca, Cocculus, Dracaena widerlegt.

II. Dicotyledonentypus mit unbegrenztem Cambiumring und mit zerstreuten begrenzten Fibrovasalsträngen im Mark.

Hieher gehören die Nyctagineen, Piperaceen etc. Bei ihnen bilden sich mehrere der Cambiumstränge, welche zuerst in dem Urmeristem sichtbar werden, zu isolirten Fibrovasalsträngen aus, die ein begrenztes Dickenwachsthum besitzen, und in der Zahl von 4—18 durch das Mark verlaufen. Erst die spätern und äussern Cambiumstränge ordnen sich zu einem Ringe, welcher Rinde und Mark scheidet, und dessen Thätigkeit unbegrenzt fortdauert. Das Verhalten des Markes, der Protenrinde, des Phloëms und der Parenchymstrahlen zeigt keine wesentlichen Verschiedenheiten von dem gewöhnlichen Dicotyledonentypus. Auch das Verhalten des Cambiumringes und des Xylems stimmt bei den einen der hieher gehörigen Pflanzen (Piperaceen) vollkommen überein. Bei den andern dagegen (Nyctagineen) sind die Gefässe mehr zu Bündeln oder vielmehr zu kurzen Reihen vereinigt, und jeder dieser Vasalgruppen entspricht ein ausserhalb derselben befindlicher Cambiformstrang.

III. Dicotyledonentypus mit successiven begrenzten Cambiumringen in der Epenrinde.

Als Beispiel dieses Wachsthums habe ich vorzüglich die Aeste von Phytolacca dioica Lin. studirt; und das Folgende gründet sich nur auf diese Pflanze. In dem Urmeristem der Stammspitze scheiden sich nach einander eine grössere Zahl von Cambiumsträngen aus, von denen die innern und frühern in der Zahl von 8 — 12 getrennt bleiben, die äussern und spätern sich in einen Ring ordnen, der Mark und Rinde trennt. Die einen und die andern haben entschiedenes Dickenwachsthum, das aber von begrenzter Dauer ist; bei allen besteht das Xylem aus einem primären Theil mit abrollbaren Gefässen und dünnwandigen Zellen, und einem secundären Theil mit porösen Gefässen und Holzzellen.

Die im Mark zerstreuten Fibrovasalbündel zeigen die Eigenthümlichkeit, dass jedes einzelne für sich einen mehr oder weniger, oft vollständig geschlossenen Ring mit eigenem Centrum bildet, welcher auf den ersten Blick an den gewöhnlichen Holzring der Dicotyledonen erinnert, bei genauerer Betrachtung aber ein ganz anderes Verhalten offenbart. Die dem Centrum des Stengels zugekehrte Seite zeigt den primären oder Markscheidentheil als getrennte Vorsprünge in der Zahl von 2 — 4. Der Holzring, aus Holzzellen und porösen Gefässen bestehend, ist von 4 — 6 durchgehenden und einigen unvollständigen Markstrahlen unterbrochen, und schliesst in seinem Innern zunächst Cambiform, dann Bast von wenig charakteristisch entwickelter Structur und zu innerst etwas Parenchym ein. Offenbar entsteht diese merkwürdige Erscheinung dadurch, dass der beträchtlich in die Breite wachsende Fibrovasalstrang an seiner äussern Seite concav wird und sich zuletzt ringförmig schliesst, wodurch paradoxer Weise der Bast ins Innere des Holzringes zu liegen kommt.

Die Fibrovasalbündel, die an der Grenze des Markes zu einem Ring zusammengedrängt sind, werden von durchgehenden Parenchymstrahlen von einander getrennt. In jedem einzelnen bilden sich oft einige unvollständige Strahlen aus. Nach aussen ist das Phloëm durch einen Bastring abgeschlossen, der später in Bündel aus einander geht. Im Uebrigen besteht es aus Parenchym. Innerhalb des letztern und ausserhalb des Holzringes befindet sich das Cambium, das bald in Cambiform übergeht, und in diesem Zustande verharrt.

Die Zellen des Markmeristems theilen sich nach Entstehung der Cambiumstränge noch eine Zeit lang, und zwar in allen Partien desselben und in allen Richtungen. In den Zellen des Protenrindenmeristems treten ausser den Querwänden vorzugsweise (in der Epidermis und dem Collenchym fast ausschliesslich) radiale Längswände auf. Die Theilung ist hier viel länger thätig als im Mark. Obgleich ziemlich spärlich, dauert sie wegen des Dickenwachsthums des Organs so lange, bis die in der äussersten Collenchymschichte beginnende Phellogenbildung allmälig die Protenrinde zerstört hat, was indess erst ziemlich spät statt hat.

Die (innerhalb des Bastes) liegende Epenrinde verhält sich wie die zunächst liegenden Schichten der Protenrinde. Abgesehen von den Querwänden, welche das Cambium in Parenchym verwandeln, bilden sich tangentiale und radiale Längswände. Zwischen dem Bastring und dem Cambiform der innern kreisförmig gestellten Fibrovasalstränge entsteht dann ein neuer Kreis von Cambiumbündeln, die sich ähnlich verhalten wie die aus dem Urmeristem entstandenen Cambiumstränge des ersten Kreises, mit dem Unterschiede jedoch, dass sie (weil das Längenwachsthum des Astes aufgehört hat) kein primäres Xylem mit abrollbaren Gefässen, sondern nur Holz und poröse Gefässe, ferner keinen Bast bilden. Ausser den durchgehenden Parenchymstrahlen, welche die Fibrovasalbündel trennen, können auch hier einige unvollständige in jedem einzelnen Strang vorkommen. — Indess vermehrt sich die innerhalb des Bastes und ausserhalb des zweiten

Kreises von Fibrovasalsträngen liegende Epenrinde, und es bildet sich dann in derselben ein dritter Kreis von Cambiumsträngen.

Diese Entwickelung dauert nun fort, so lange der Ast lebt. Die ganze Rinde zwischen dem Periderm und dem äussersten Kreis von Fibrovasalsträngen ist in Vermehrung begriffen; am lebhaftesten indess vermehrt sich immer der innere Theil derselben, welcher daher auch am deutlichsten eine radiale Anordnung der Zellen zeigt. Sobald aber ein neuer Kreis von Cambiumbündeln die Rinde in eine innere und eine äussere Hälfte scheidet, so ist es nur die letztere, deren Zellen sich theilen; die innere Hälfte geht sogleich in Dauergewebe über. — In einjährigen starken Aesten kommen bis auf 5 und 6 Kreise von Fibrovasalsträngen vor, die bald eine regelmässige, bald eine unregelmässige Anordnung zeigen; im letztern Falle sind sie auf der einen Seite zahlreicher als auf der andern.

Bei Phytolacca haben wir also 3 concentrisch kreisförmige Regionen, in denen unbegrenzte Vermehrung des Gewebes thätig ist: das Phellogen, welches sprungweise in neue Rindenzellen übergeht, — das Meristem, welches zwar in der ganzen Rinde thätig, in der innern aber am wirksamsten ist, und welches sprungweise seine innere Stätte verlässt, um sich weiter aussen zu concentriren, — endlich die Cambiumstränge sammt dem zwischen ihnen liegenden Strahlenmeristem, welche Ringe von begrenzter Vermehrungsdauer, aber mit unbegrenzter Wiederholung bilden.

IV. Dicotyledonentypus mit successiven begrenzten Cambiumringen in der Protenrinde.

Dieser Typus gründet sich auf die Untersuchung von Cocculus laurifolius DC. Die ersten Entwicklungsstadien stimmen mit dem gewöhnlichen Dicotyledonentypus überein. Die Fibrovasalstränge bilden einen Ring, der Mark und Rinde scheidet, und sind von durchgehenden Parenchymstrahlen getrennt. Das Cambium bleibt aber nur während einer begrenzten Dauer (1 — 2 Jahre) thätig, und hört dann auf, Zellen zu bilden. — Das Xylem enthält in seinem primären oder Markscheidentheil nur wenige Spiralgefässe, und besteht in seinem secundären Theil aus Holz mit eingestreuten Gefässen, worauf eine Lage von Splint (jungem Holz) folgt. — Das Phloëm zeigt 2 Theile. Der äussere ist Bast; der innere besteht aus wenigen Schichten von bastähnlichen aber dünnwandigen Zellen, die durch Querwände getheilt sind. — Zwischen Phloëm und Xylem befinden sich die sehr kleinen Cambiformzellen, die an die Stelle des Cambiums getreten sind.

Die Zellentheilung hört in dem Marke frühzeitig auf. Sie dauert in der Rinde in langsamer Bewegung fort, indem sich, entsprechend dem Flächenwachsthum derselben, radiale Längswände bilden. Tangentiale Wände treten vorerst keine auf, und die Zahl der Zellschichten bleibt die nämliche. Erst wenn die Thätigkeit des Cambiums erlöscht, so strecken sich die innern Rindenzellen (gewöhnlich sind es 2 oder höchstens 3 Schichten) in radialer Richtung, und theilen sich wiederholt durch tangentiale Wände; doch so dass es immer wieder die innersten sind, welche sich am lebhaftesten vermehren. Wenn die Rinde ausserhalb der gebogenen Bastbündel früherhin aus 7 — 9 Schichten (nämlich aus der Epidermis, aus 2 farblosen, collenchymartigen Schichten, 3 — 5 grünen und 1 farblosen Schicht) bestand, so zeigt sie nun deren 18 — 20. Davon bleiben 10 — 11 unverändert (die Epidermis, 2 farblose, 4 — 5 grüne und 3 — 4 bloss stärkeführende Schichten). Die folgenden 3 — 4 Schichten, welche anfänglich reich an Amylum waren und dünne Membranen hatten, werden dickwandig und porös, indem sie einen Theil ihres Inhaltes bewahren. Sie stellen einen bastähnlichen Ring dar. Die innerhalb des letztern, zwischen ihm und dem eigentlichen Bastring befindlichen Zellen (oft sind es nur 1 — 2 Schichten) theilen sich fortwährend durch tangentiale Wände, doch so dass es immer die äusseren sind, welche bildungsfähig bleiben, indess die inneren in Dauergewebe übergehen.

Wir haben somit nun einen zwischen dem eigentlichen und dem falschen Bast eingeschlossenen Meristemring. In demselben bildet sich ein Kreis von Cambiumbündeln aus, was dadurch geschieht, dass die Bildungszellen, ihre Enden neben einander vorbeischiebend, allmälig länger werden. Die Cambiumzellen erreichen bald die Länge, die sie im innern Kreis hatten, und behalten dann dieselbe, so lange das begrenzte Dickenwachsthum dauert. — Zwischen den Cambiumbündeln befindet sich Strahlenmeristem, dessen Zellen die ursprüngliche Höhe nicht verändern. Bis die verlängerten Cambiumzellen sich gebildet haben, besteht der Ring von Bildungsgewebe bloss aus 1 — 2 Schichten; erst nachher wird er an den Stellen, wo sich die Cambiumstränge befinden, mächtiger.

Der entwickelte Zustand zeigt uns zwischen dem Bast des innern Kreises und dem bastähnlichen Parenchymring einen zweiten Kreis von Fibrovasalbündeln, welcher (vom Baste aus anfangend) zuerst 4 — 6 dickwandige Parenchymschichten, dann kurze Holzzellen und kurzgliedrige poröse Gefässe (die innersten zuweilen genau von gleicher Länge wie die anliegenden Parenchymzellen), dann verlängerte Holzzellen mit langgliedrigen Gefässen enthält. Der Uebergang der kurzen in die langen Zellen ist bald rascher bald langsamer; als stärkstes Verhältniss wurde je die äussere Zelle durchschnittlich doppelt, als schwächstes durchschnittlich 1⅙ so lang gefunden als die vorhergehende innere. Auf das Holz folgt Splint, dann Cambiform, und ausserhalb desselben einige Schichten von dünnwandigem, bastähnlichem, durch Querwände getheiltem Phloëm. Die Fibrovasalbündel des zweiten Kreises unterscheiden sich also von denen des ersten bloss durch den Mangel der abrollbaren Gefässe, wofür sie einen innern Theil besitzen, der die Uebergänge zum Parenchym zeigt, und durch den Mangel des Bastes, wofür sie nach aussen von einem dickwandigen Rindenparenchym bedeckt sind.

Der gleiche Prozess wiederholt sich nun fortwährend in der Rinde. Ihre Zellen sind in langsamer Vermehrung begriffen, vorzugsweise durch radiale Längswände. Mit dem Erlöschen des Cambiums und Markstrahlenmeristems beginnt eine lebhaftere Theilung der innern Rindenschichten vermittelst radialer Wände, worauf wieder die innerste Partie durch einen dickwandigen Parenchymring umgrenzt wird. Der Zuwachs, den die Rinde durch die Zellentheilung erhält, stellt sich immer grösser dar als der Verlust, welcher mit der Bildung eines neuen Kreises von Fibrovasalsträngen verbunden ist. Daher wird die Rinde mit dem Alter mächtiger, bis die Peridermbildung an der äussern Seite eintritt und durch einen fortwährenden Abgang dem innern Zuwachs das Gleichgewicht hält.

Cocculus unterscheidet sich von Phytolacca dadurch, dass der Meristemring, wodurch das Rindenparenchym fortwährend sich vermehrt, ausserhalb des Bastes also in der Protenrinde seinen Sitz hat. Die Unregelmässigkeit in der Anordnung der Fibrovasalstränge ist noch grösser als bei Phytolacca; die concentrische Stellung ist gewöhnlich gestört, indem die Kreise anfänglich einseitig und später auf der einen Seite mächtiger sind.

Es geht mir eben der Aufsatz von Radlkofer »über das anomale Wachsthum des Stammes der Menispermeen« in der Flora 1858, pag. 193 zu, welcher die Erscheinungen in den Zweigen von Cocculus laurifolius detaillirter behandelt, als ich es gethan habe. Indem ich seine Angaben im Uebrigen bestätigen kann, weiche ich nur in zwei Puncten etwas ab. Radlkofer unterscheidet nicht scharf genug die verschiedenen Zellenbildungsprozesse; er nennt das in der Rinde ausserhalb des Bastes auftretende Bildungsgewebe Cambium, und könnte leicht den Leser zu einer Annahme verleiten, welche auf eine Unmöglichkeit führt. Nach seiner Darstellung scheint es nämlich, als ob das aus dem sogenannten Cambium hervorgehende Gewebe vollständig zu der Bildung des neuen Fibrovasalstrangkreises und des ihn bedeckenden bastähnlichen Ringes verwendet werde. So müsste die Rinde (da für einen Ersatz keine Aussicht geboten ist) nach und nach in der Bildung des Holzes aufgehen, während sie in der That fortwährend mächtiger wird. Die Meristembildung ist, wie ich gezeigt habe, in der Rinde immerfort thätig, zeitweise aber gesteigert, und immer aus dem innersten Theil der sich vermehrenden Rinde gehen die Cambiumbündel hervor.

Radlkofer lässt ferner die Verlängerung der Cambiumzellen wenigstens für die ersten Stadien fast ausschliesslich durch die entsprechende Abnahme und das schliessliche Verschwinden ganzer Radialreihen von Zellen geschehen, so dass z. B. die Zellen einer Reihe ihre dreifache Länge erreicht haben, wenn 2 andere (über- und unterliegende) Reihen verschwunden sind. Ich stimme vollkommen bei, dass ein solches Kürzerwerden und Aussterben radialer Zellreihen (nebst entsprechender Verlängerung der andern) vorkommt; man kann es überall beobachten, wo durch eine fortdauernde Zellbildung in einer Richtung aus jeder einzelnen Zelle eine ganze Reihe hervorgehen kann, im Xylem, Phloëm und in den Parenchymstrahlen. Ich gebe auch zu, dass an dem fraglichen Orte bei Cocculus diese Erscheinung häufiger vorkommt als anderswo; aber ich finde sie lange nicht häufig genug, um die Verlängerung der Cambiumzellen zu erklären. Ich glaube im Gegentheil, dass ihr Bestreben, sich zu verlängern, ein Vorbeischieben ihrer Enden (was vorzugsweise auf tangentialen Längsschnitten bemerkbar ist) veranlasst, und dass darin der hauptsächlichste Grund ihrer von Schicht zu Schicht zunehmenden Länge zu suchen ist. Die Cambiumzellen behalten dieses Bestreben fortwährend; sie zeigen aber, auf einem bestimmten Punct angelangt, fortan durchschnittlich die nämliche Länge, weil nun die Theilung durch Querwände dem Wachsthum das Gleichgewicht hält. Desswegen sind die Elemente der Fibrovasalstränge aller Kreise (mit Ausnahme derjenigen Elemente des innersten Kreises, welche sich vor dem Aufhören des Längenwachsthums des Zweiges gebildet haben) ungefähr gleich lang. Dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass besondere Wachsthumsverhältnisse bald einen äussern, bald einen innern Kreis begünstigen. Ich kann aber die Angabe nicht bestätigen, dass die Zellen der Fibrovasalstränge des innern Kreises constant länger seien.

V. Monocotyledonentypus mit begrenzter Bildung von Fibrovasalsträngen.

Es gehören hieher die Palmen mit der grossen Mehrzahl der Monocotyledonen. Bei Chamaedorea elatior Mart. verhält sich das Wachsthum folgendermaassen. Aus dem Urmeristem scheiden sich zahlreiche Cambiumstränge aus, welcher Prozess in den Internodien im Centrum beginnt, und ziemlich rasch nach der Peripherie hin fortschreitet. Diese Folge in centrifugaler Richtung wird indess nicht ganz strenge eingehalten. Einzelne äussere Stränge schreiten voran, wenn sie im Austritt in das nächste Blatt begriffen sind. Einzelne innere dagegen folgen etwas später nach, was ebenfalls mit dem Längsverlauf zusammenhängt.

Die aus den Cambiumsträngen hervorgehenden Fibrovasalstränge bestehen in ihrer innern oder Xylemhälfte aus Gefässen und Holzzellen, in ihrer äussern oder Phloëmhälfte aus Bastfasern. Xylem und Phloëm sind in der Mittellinie durch ein Bündel von Cambiform geschieden, und gehen beiderseits (links und rechts) unmerklich in einander über. Die Xylemhälfte nimmt von den innern Strängen, welche Spiral- und poröse Gefässe besitzen, zu den äussern, welche nur poröse Gefässe enthalten, an Mächtigkeit ab, während die Phloëmhälfte an Mächtigkeit zunimmt.

Verfolgen wir die Entwicklungsgeschichte des einzelnen Fibrovasalstranges, so bestehen mit Rücksicht auf Zellenvermehrung folgende Verhältnisse. Anfänglich findet Theilung durch Längswände in allen Zellen des Cambiumstranges statt. Sie hört dann zuerst an der ganzen Peripherie auf, und von da schreitet das Aufhören nach dem Centrum hin fort. Desswegen nimmt in dem Phloëm die Dicke der Fasern von aussen nach innen hin ab; im Xylem findet das Umgekehrte statt. In dem Stadium, wo die Verholzung des Bastes beginnt, ist das Cambium bloss noch ein Bündel von 2 — 3 Zellschichten, kenntlich durch seine kleinen dünnwandigen, von aussen nach innen zusammengedrückten Zellen, und deutlich verschieden von dem einwärts folgenden Cambiform, dessen Zellen etwas dickwandiger, durchschnittlich etwas weiter und unter einander von ungleicher Grösse sind. Später verschwindet das Cambium gänzlich und wird durch Cambiform ersetzt; oft bleibt jedoch seine Stelle noch längere Zeit sichtbar als eine einfache

Schicht zusammengedrückter Zellen, welche gewöhnlich die kleinsten des ganzen Fibrovasalstranges sind.

Das Cambiform der Palmen wurde von Mohl zuerst als Vasa propria unterschieden, von den spätern Phytotomen als Cambium bezeichnet. Indessen hat Mohl mit Recht auf die Verschiedenheit zwischen beiden Geweben hingewiesen (Bot. Zeit. 1855, pag. 893); er kommt dabei zu dem Schlusse, dass die Vasa propria der Palmen zum Baste gehören. Wenn ich ihnen diesen Namen nicht gegeben habe, so liegt der Grund nicht darin, dass ich die Analogie zwischen den weiten Zellen des monocotyledonen Cambiforms und den Gitterzellen des dicotyledonen Bastes bestreiten möchte. Aber ich bezweifle, dass das ganze Gewebe zum Baste (Phloëm) zu rechnen sei. Bei Chamaedorea ist es, wie ich glaube, seiner Lage nach eher Xylem; in den Wurzeln der gleichen Pflanze kommen die Cambiformstränge zerstreut in dem Fibrovasalring zwischen den äussern und den innern Gefässen vor. Den räumlichen Verhältnissen nach kann also dieses Gewebe unmöglich als zum Basttheil gehörend betrachtet werden, es sei denn, dass unsere gegenwärtigen Begriffe von Holz- und Basttheil noch sehr unzureichend wären, und bei den Monocotyledonen ungeahnte Verflechtungen der beiden Gewebe vorkämen. Ich habe desswegen den Namen Cambiform gewählt, welcher nichts präjudicirt. Wie aus dem Cambium sowohl Xylem als Phloëm entsteht, so kann das Cambiform auch das eine oder andere oder beide vereint darstellen, und diess sowohl in morphologischer als in physiologischer Beziehung. Mohl vermuthet, dass die Vasa propria der Monocotyledonen die gleiche Function ausüben wie die innern Rindenschichten der Dicotyledonen und den absteigenden Saft leiten. Ich will auch diess nicht bestreiten, insofern wir überhaupt von einem so wenig bekannten Vorgang sprechen dürfen. Allein auch der Splint der Dicotyledonen muss eine Function haben, deren Sitz kaum anderswo gefunden werden dürfte als in dem nämlichen Cambiform (oder Vasa propria).

Die Ausbildung der Zellen eines Stranges geschieht nicht genau in der gleichen Folge, in welcher sie entstehen. Zuerst trifft sie die Spiralgefässe, wenn solche vorhanden sind. Dann beginnen diejenigen Bastzellen, welche zunächst dem Cambium (an dessen äusserer Seite) liegen, ihre Wandungen zu verdicken. Von diesem Puncte schreitet die Verholzung des Phloëms nach aussen und darauf zugleich auch in seitlicher Richtung fort. Erst nachdem die Ausbildung des Bastes begonnen hat, folgen die porösen Gefässe sammt den Holzzellen nach. — Die Verdickung der Zellwandungen geht also in jeder der beiden Hälften des Fibrovasalstranges selbständig von innen nach aussen, und schlägt somit im Phloëm den umgekehrten Weg ein, den das Aufhören der Zellentheilung zeigt.

Berücksichtigen wir die Ausbildung aller auf dem Querschnitt eines Stengelinternodiums neben einander liegenden Bündel, so geschieht dieselbe, was die Xylemhälfte betrifft, in gleicher Reihenfolge wie die Anlage derselben. Die Entwicklung der Spiral- sowie der porösen Gefässe beginnt in den innersten und frühsten Strängen, und schreitet nach der Peripherie des Stammes hin fort. Die

Ausbildung der Phloëmhälfte dagegen fängt in den äussern und spätern Strängen an, und bewegt sich nach den im Centrum befindlichen hin.

Die Fibrovasalbündel nehmen nach aussen hin eine gedrängtere Stellung an, und bilden zu äusserst eine sehr dichte Lage. Dort finden häufige Vereinigungen statt, und zwar sind es immer nur je 2 entweder genau radial oder etwas schief hinter einander, seltener neben einander liegende Stränge, welche mit einander verschmelzen. Man sieht alle möglichen Uebergänge von dem Beginne der Vereinigung bis dahin, wo beide in einen einfachen Strang von gewöhnlichem Bau übergegangen sind. Sehr deutlich erkennt man diese zusammengesetzten Stränge vor ihrer vollkommenen Entwicklung, wenn die Bastbildung in den beiden Hälften auf getrennten Puncten begonnen hat.

Die äusserste gedrängte Schicht der Fibrovasalstränge bezeichnet die Grenze zwischen Mark und Rinde. — Während aus dem innern Theil des Urmeristems sich Cambium für die Fibrovasalbündel ausscheidet, so entstehen auch in dem äussern Theil desselben Cambiumstränge, welche sich in die Bastbündel der Rinde verwandeln. — Das Mark- und Rindenmeristem bleibt noch einige Zeit nach der Bildung des Cambiums in Thätigkeit, indem die Zellen sich vorzüglich durch Querwände theilen.

Die Cambiumstränge, und somit die Gefäss- sowie die Baststränge, entstehen alle unmittelbar aus dem Urmeristem. Schacht (Anat. und Phys. I, 320 ff.) nimmt für Chamaedorea und andere Palmen einen »Verdickungs- oder Cambiumring« an, dessen zellenbildende Thätigkeit von begrenzter Dauer sei und später mit Verholzung endige. Ich kenne bei Chamaedorea keine Erscheinung, welche so bezeichnet werden könnte, indem die Cambiumstränge, wie bereits gesagt wurde, beinahe gleichzeitig angelegt werden, und die Theilung der Parenchymzellen auf allen Puncten des Querschnittes ebenfalls fast gleichzeitig aufhört. Bei andern Palmen ist der sogenannte Verdickungs- oder Cambiumring ohne Zweifel nichts anderes als Urmeristem, welches an der Grenze zwischen Mark und Rinde sich etwas später in Folgemeristem und Cambiumstränge scheidet als im Innern, eine Erscheinung, die auch in den Wurzeln von Pandanus vorkommt.

VI. Monocotyledonentypus mit unbegrenzter Bildung von Fibrovasalsträngen.

Als Beispiel dieses Typus habe ich Calodracon Jacquini Göpp. untersucht. Aus dem Urmeristem scheiden sich zahlreiche Cambiumstränge aus. Das zwischenliegende Meristem bleibt noch eine Zeit lang in Theilung, vorzüglich durch Querwände; die Entstehung von Längswänden in demselben hört frühzeitig auf. — Ausserhalb der Cambiumbündel beharrt aber eine ringförmige Schicht in Bildungsthätigkeit. Dieser Meristemring scheidet Mark und Rinde; er dauert so lang der Stamm oder Ast lebt, und bildet fortwährend nach innen secundäres Markparenchym und nach aussen in geringerer Menge secundäres Rindenparenchym. Hin und wieder entstehen in demselben Cambiumbündel, welche in dem Markparenchym zurückbleiben und sich zu Fibrovasalsträngen ausbilden. — Die Rinde nimmt vermöge der Thätigkeit des Meristemringes an ihrer innern Fläche an Mächtigkeit zu. Bald beginnt an ihrer äussern Fläche Peridermbildung, und sie verliert dort, was sie auf der andern Seite gewinnt.

Die Ausbildung der Cambiumstränge zu Fibrovasalsträngen findet in der Reihenfolge statt, in welcher sie entstanden sind. Sie ist daher fast gleichzeitig in dem ganzen primären Marke. In dem secundären Marke, welches aus dem Meristemring hervorgegangen ist, tritt sie etwas später ein, und schreitet von innen nach aussen fort. — Die Stränge des primären Markes enthalten Spiral- und poröse Gefässe, diejenigen des secundären nur die letzteren. Die Spiralgefässe liegen meistens etwas zerstreut, indess die porösen Gefässe einander unmittelbar berühren und nur wenige zwischen ihnen eingestreute Holzzellen zeigen. Die Gefässe eines jeden Stranges stellen einen mehr oder weniger vollständigen Ring dar, dessen Ausbildung auf der innern Seite beginnt, und beiderseits fortschreitend sich auf der äussern Seite schliesst. Dieser Vasalring umgiebt das Cambium, oder vielmehr das Cambiform, welches theilweise in ein holzähnliches Gewebe übergeht.

Sowohl im primären als im secundären Marke kommt es nicht selten vor, dass 2 oder auch 3 Fibrovasalstränge mit einander verschmelzen. Man sieht die Vereinigung in allen Stadien: in einem der zusammengesetzten Stränge sind die eingeschlossenen Cambiummassen noch getrennt, in einem andern sind sie in eine einzige Masse mit länglichem Querschnitt zusammengegangen. Es sind sowohl tangential neben, als radial hinter einander liegende Stränge, welche diese Verschmelzung zeigen.

Die Cambiumstränge, die dem Meristemring ihren Ursprung verdanken, entstehen jeder aus einer einzigen oder aus einigen wenigen Zellen einer Radialreihe oder aus mehrern Zellen von 2 und 3 Radialreihen, durch wiederholte Bildung von tangentialen und radialen Längswänden. Zugleich erfolgt ein beträchtliches Längenwachsthum der Zellen, indem sie sich bei einander vorbeischieben. Die Elemente der Cambiumstränge sind in Folge dieser Prozesse viel kleiner auf dem Querschnitt als die umgebenden Zellen des secundären Markes. Wenn sie sich in Gefässe umwandeln, so dehnen sie sich bedeutend aus, und da die Stränge dicht beisammen stehen, so werden die zwischenliegenden Zellschichten stark zusammengedrückt und erhalten ein markstrahlenähnliches Aussehen. — Die Stränge im primären Mark nehmen bei ihrer Ausdehnung ebenfalls im Querschnitt beträchtlich zu; allein da sie weiter von einander entfernt liegen, so hat diess auf das zwischenliegende Gewebe keinen merkbaren Einfluss. — Die aus dem Meristemring hervorgehenden Fibrovasalstränge bilden wegen ihrer gedrängten Lage einen scheinbaren Holzring.

Die Rinde besteht ganz aus Parenchym, dessen Zellen in langsamer Vermehrung begriffen sind, indem sie seltener Querwände und tangentiale Längswände, häufiger radiale Längswände bilden. Wegen der in ihnen zuweilen auftretenden Querwände nimmt die durchschnittliche Zellenhöhe von dem Meristemringe nach der Peripherie ab. — Einzelne zerstreute Rindenzellen enthalten einzelne (1 bis 3 und 4) säulenförmige Crystalle oder Bündel von Rhaphiden. Diese Zellen zeigen das umgekehrte Verhältniss; in der Nähe des Meristemringes haben sie die Länge der übrigen, in den äussern Rindenschichten sind sie 3- bis 6mal so lang als die angrenzenden Zellen. Wir müssen diesen krystallführenden Zellen daher ein selbständiges Längenwachsthum zuschreiben.

Ich habe nur die Wachsthumstypen der ausdauernden Stammtheile bei den Phanerogamen berücksichtigt. Die einjährigen Theile zeigen manche interessante Verhältnisse. Es lässt sich aber namentlich bei den Dicotyledonen oft nicht ausmitteln, welchem der aufgezählten Typen sie angehören.

Die Wurzeln zeigen, insofern sie perennirend sind, späterhin eine merkwürdige Uebereinstimmung in ihrem Dickenwachsthum mit den Stammtheilen der gleichen Pflanze; und wir können daher bei denen der Dicotyledonen die gleiche Zahl von Wachsthumstypen unterscheiden. — In ihren ersten Stadien aber bieten die Wurzeln eine constante und charakteristische Verschiedenheit gegenüber den Stammtheilen dar. Dieselbe besteht im Allgemeinen darin, dass die Gefässbildung (im Cambium überhaupt oder wenigstens in einem äussern Kreis von Cambiumsträngen) an der Peripherie beginnt und nach dem Centrum der Wurzel hin fortschreitet, und dass das zu diesen centripetalen Vasalbündeln gehörige Cambium oder Cambiform nicht in radialer Richtung ausserhalb oder innerhalb, sondern in tangentialer Richtung neben oder zwischen denselben liegt; während in den Stammtheilen der Phanerogamen die Gefässbildung centrifugal ist und das Cambium oder Cambiform ausserhalb der Gefässe (oder wenigstens der ersten derselben) befindlich ist.

Wurzeln der Dicotyledonen.

Die Wurzelspitze innerhalb der Wurzelhaube besteht aus Urmeristem; der centrale Theil desselben verwandelt sich in einen soliden Cambiumcylinder. In dem Letztern beginnt die Gefässbildung auf 1, 2, 3 oder 4 peripherischen Puncten und schreitet nach dem Centrum hin fort. Wir finden somit auf Querschnitten oberhalb der Wurzelspitze 2 — 4 Vasalbündel, z. B. 2 bei den Cruciferen, Fumariaceen, Caryophylleen, Ampelideen, bei Urtica, Plantago, Helianthemum, Baptisia etc.; 3 bei den meisten Papilionaceen, Orobanche, Pinus; 4 bei den Umbelliferen, Cucumis, Convolvulus, Cocculus (XIX, 2) Ricinus, Euphorbia.

Diese Vasalbündel, die ich als die ursprünglichen der Wurzel bezeichnen will, haben aussen kleinere, nach innen grössere Gefässe, die meist in eine einfache und ununterbrochene radiale Reihe gestellt sind. Sie treffen im Centrum auf einander, und bilden dann in einem Falle (wenn ihrer 2 sind) eine einzige, dem Durchmesser entsprechende Reihe (XIX, 7), im andern Falle einen 3- oder 4strahligen (kreuzförmigen) Stern (XIX, 3). Der Raum zwischen den Strahlen dieser ursprünglichen Vasalgruppe (zuweilen ist es eine Fibrovasalgruppe) oder den ursprünglichen Vasalsträngen ist mit Cambium ausgefüllt; namentlich unterscheidet man in der zwischen ihren äussern oder Anfangstheilen befindlichen Partie eine Stelle, wo die Zellen am kleinsten und die Zellenbildung am lebhaftesten ist, und ausserhalb dieser Stelle (also ebenfalls alternirend mit den Vasalbündeln) bemerkt man zuweilen sogar je ein Bastbündel (Lathyrus, Onobrychis, Baptisia etc.).

Wenn die Gefässbildung (oder Gefäss- und Holzbildung), von aussen nach innen vorrückend, im Centrum angelangt ist und die ursprüngliche Vasalgruppe gebildet hat, so wendet sie sich nach aussen. Die ersten Gefässe entstehen in den Winkeln der 3- und 4strahligen Massen oder neben dem mittlern Theil der diametralen Reihe. Nach und nach füllt sich dann von innen nach aussen der ganze Raum mit Gefässen und Prosenchymzellen, wobei die Gefässe bald zerstreut, bald in bestimmte Gruppen vereinigt sind. Bei Urtica z. B., wo die Gefässbildung an 2 peripherischen Puncten anhebt und einen Querstreifen bildet, schreitet sie dann in einer zu demselben rechtwinkligen Richtung von dem Centrum auswärts und bildet so ein Kreuz.

Statt des ursprünglichen Cambiumcylinders haben wir nun einen Fibrovasalcylinder. In demselben erkennt man häufig die ursprüngliche Vasalgruppe unverändert. Zuweilen indess ist sie durch die Zunahme des zunächst dem Centralpunct liegenden Cambiums unterbrochen, und in mehr oder weniger von einander abstehende Stücke getrennt worden. — Das Cambium ist in manchen Fällen deutlich auf die Stellen, welche mit den ursprünglichen Vasalsträngen alterniren, beschränkt. Es verbreitet sich aber rasch, ergreift auch die ausserhalb jener Vasalbündel liegenden Stellen und schliesst sich so zu einem vollständigen Ringe. Häufig jedoch ist die Schliessung nicht vollständig, und es bleiben ausserhalb der primären Vasalbündel mehr oder weniger breite Parenchymstrahlen zurück.

Bis hieher stimmt, so weit meine Untersuchungen reichen, das Wachsthum aller Dicotyledonenwurzeln überein. Sie unterscheiden sich von den Stammtheilen durch den Mangel eines Protenmarkes, indem das Centrum von Fibrovasalgewebe besetzt ist*). Durch dieses anatomische Merkmal lässt sich die Pfahlwurzel, die übrigens nichts anderes als die erste und am stärksten sich ausbildende Seitenwurzel ist, leicht von dem unter den Cotyledonen befindlichen Stengelgliede unterscheiden. Die Grenze zwischen beiden, äusserlich oft undeutlich, ist innerlich sehr scharf, da der Uebergang von dem markführenden Stengel in die marklose Wurzel und von der Strangordnung des einen in die der andern plötzlich stattfindet.

Wenn das Dickenwachsthum der Wurzel fortdauert, so folgt es, nachdem einmal der ursprüngliche Fibrovasalcylinder sich gebildet hat, dem gleichen Typus, der den Stammtheilen eigenthümlich ist. Bei dem gewöhnlichen Typus, dem namentlich fast alle unsere einheimischen Dicotyledonen angehören, bleibt der Cambiumring in unbegrenzter Thätigkeit, indem er nach innen Xylem, nach aussen Phloëm bildet. Das Cambium ist mit zunehmendem Umfang an immer zahlreichern Stellen von Strahlenmeristem unterbrochen. Die Markstrahlen, welche das Xylem durchziehen, reichen mehr oder weniger tief in dasselbe hinein. Eine Unterscheidung von durchgehenden und unvollständigen Markstrahlen ist hier unmöglich, insofern man nicht die bis zum ursprünglichen Fibrovasalcylinder sich erstreckenden als durchgehende (grosse, primäre) bezeichnen will. Das Xylem zeigt die gleichen Verschiedenheiten wie in den Stammtheilen. Es besteht häufig aus Holz mit eingestreuten Gefässen, bei den Coniferen bloss aus Holz; nicht selten ist das Holz mehr oder weniger durch Parenchym ersetzt. Das Phloëm besteht bald bloss aus Parenchym, bald aus solchem mit einzelnen Bastbündeln oder Bastzellen. — Die Zellenbildung hört innerhalb des Cambiumringes sogleich auf, wenn das Xylem aus Holz besteht. Sie dauert nur kurze Zeit fort, wenn es parenchymatisch ist (indem sich vorzüglich noch Querwände bilden). In der Rinde dagegen, sowohl in dem Proten- als in dem Epentheil derselben, ist eine langsame Vermehrung (vorzugsweise durch radiale Längswände) thätig, bis die von aussen nach innen fortschreitende Peridermbildung ihr in jeder Schicht ein Ende setzt.

---

*) Es giebt auch Dicotyledonenwurzeln, welche im Centrum Parenchym enthalten. Die Entwicklungsgeschichte muss noch ermitteln, ob dasselbe wirklich dem organischen Mittelpunkt entspreche, und ob es aus dem Urmeristem oder nicht vielmehr aus Cambium entstanden sei.

Brassica. Raphanus.

Ausgezeichnete Beispiele für eine überwiegende Parenchymbildung bieten die Wurzeln von Brassica Rapa Lin. und Raphanus sativus Lin. dar. Das ganze Gewebe wird durch den Cambiumring in Mark (eigentlich Xylemparenchym) und Rinde geschieden. Die im Marke zerstreuten Fibrovasalbündel liegen zunächst dem Centrum etwas gedrängter beisammen, und man erkennt zwischen denselben die ursprüngliche Vasalgruppe, bestehend aus einer ununterbrochenen oder getrennten Reihe von Gefässen. Im Uebrigen zeigen sie mehr oder weniger deutlich theils radiale theils concentrische Anordnung, wobei die radialen Reihen nach aussen sich theilen und so an Zahl zunehmen.

Alternirend mit diesen Reihen sieht man radiale Streifen durch das Parenchym verlaufen. Sie bestehen aus 1—3 neben einander liegenden Schichten, deren Zellen sich von den übrigen Parenchymzellen durch ihre in radialer Richtung verlängerte und tangential verschmälerte Gestalt unterscheiden. Es sind die Markstrahlen.

In dem Rindenparenchym sind Bündel von wenigen bastähnlichen Zellen oder häufiger einzelne solcher Zellen zerstreut. Bei einiger Aufmerksamkeit sieht man bald, dass sie den Fibrovasalsträngen innerhalb des Cambiumringes entsprechen und somit eine jenen opponirte Anordnung zeigen. Sie stehen ebenfalls in radialen Reihen, die aber von aussen nach innen sich theilen.

Der Cambiumring hat zu verschiedenen Zeiten eine verschiedene Structur. Zuweilen sind seine Zellen fast gleich, so dass man auf dem Querschnitt, zwischen denjenigen Stellen, die den Markstrahlen, und denen, die den Fibrovasalbündeln entsprechen, keinen Unterschied wahrnimmt. Auf Längsschnitten zeigt sich nur ein nicht sehr bedeutender Unterschied in der Länge. In diesem Zustande bildet der Cambiumring nach aussen und nach innen Parenchym, und wäre eher als Meristemring zu bezeichnen. Zeitweise sieht man an den Stellen, die den Fibrovasalbündeln opponirt sind, die Zellen sich beträchtlich verlängern und durch häufigere Längswände sich theilen, so dass deutlich unterschiedene Cambiumstränge auftreten. Dieselben theilen sich sofort in 3 Theile; der mittlere fährt fort dem Bildungsring anzugehören und Zellen zu bilden, welche aber wegen des verminderten Längenwachsthums und der fortdauernden Quertheilung nach und nach wieder kürzer werden. Der äussere und der innere Theil des Cambiumstranges werden durch das zwischentretende Gewebe immer weiter von einander entfernt.

Der innere Theil wird zum Fibrovasalstrang, indem einzelne Zellen sich zu Gefässen umbilden, während die zwischen und zunächst denselben liegenden dünnwandige Prosenchymzellen bleiben. Der äussere Theil des Cambiumstranges wird zum Bastbündel, wobei jedoch bloss 1 — 3 neben einander liegende Zellen sich in wirkliche Bastzellen mit mässig dicker Wandung verwandeln, während alle übrigen durch Quertheilung zu Parenchym werden, und sich von dem übrigen Rindenparenchym einige Zeit lang nur durch geringere Querdurchmesser unterscheiden. Da aber die Rindenzellen sich fortwährend noch theilen, so verschwindet die Differenz bald ganz, und es bleiben nur die einzelnen Bastzellen als die Spuren des Gewebes zurück, welches den im Mark befindlichen Fibrovasalsträngen entspricht.

Wenn auch das anatomische Verhalten des Rettigs und der weissen Rübe an den Stamm von Phytolacca, Cocculus, Dracaena und der Palmen erinnert, so stimmt doch, was ich noch besonders hervorheben will, das Wachsthum vollkommen mit dem gewöhnlichen Dicotyledonentypus überein. Zwischen dem Cambiumring in der Wurzel von Raphanus und Brassica einerseits und demjenigen im Stamm eines einheimischen Laubbaumes anderseits besteht kein weiterer Unterschied als der, dass dort statt des Holzes fast bloss Parenchym gebildet wird. Dadurch werden die Gefässe sammt den zunächst liegenden und nicht in Parenchym umgewandelten Prosenchymzellen als Stränge isolirt. — Andere fleischige Wurzeln von einheimischen Dicotyledonen habe ich nicht genauer untersucht. Schacht (Anat. u. Phys. I, 347) vergleicht die Wurzel von Beta und Daucus mit Dracaena und Cocculus, und vermuthet ein periodisches Erlöschen des Cambiumrings wie bei letzterer Pflanze.

Phytolacca dioica Lin. (XIX, 7, 8).

Die Wurzeln dieser Pflanze enthalten im jüngsten Zustande zwei ursprüngliche Vasalbündel, welche sich bald zu einer Reihe vereinigen (Fig. 7). Darauf füllt sich der übrige Raum des Cylinders von innen nach aussen mit Gefässen und Prosenchym, wobei die ursprüngliche Reihe häufig in 2 Partien getrennt, und durch ungleichseitiges Wachsthum zu einem stumpfen Winkel gebogen wird. Sobald die Fibrovasalmasse auf dem Querschnitt isodiametrisch geworden ist, und den Raum des anfänglichen Cambiumcylinders einnimmt, so dauert die Gefäss- und Holzbildung nur an einzelnen Stellen fort. Der Fibrovasalkörper wird sternförmig (gelappt oder getheilt), wobei die Strahlen selbst wieder gelappt oder getheilt sein können (Fig. 8). Zwischen denselben ist der Raum mit Parenchym erfüllt. Besitzt ein solcher Zwischenraum eine beträchtliche Breite, was namentlich ausserhalb der ursprünglichen Vasalbündel stattfindet, so bildet sich in demselben ein besonderer (durch Parenchym von der übrigen Masse geschiedener) ebenfalls radial verlängerter Fibrovasalstrang (Fig. 8, a, a).

Die Radien des centralen Sterns wachsen nur eine Zeit lang in die Dicke. Dann entsteht in dem ausserhalb liegenden Parenchym ein neuer Kreis von Cambiumsträngen, die sich wieder zu radial verlängerten und in ihrem Dickenwachsthum begrenzten Fibrovasalsträngen entwickeln. Darauf folgt ein zweiter, dritter, vierter Kreis und so fort, mit den nämlichen Unregelmässigkeiten wie im Stamm. In einer 14 M. M. dicken Wurzel fand ich z. B. stellenweise drei, stellenweise vier Kreise.

Die Wurzel von Phytolacca hat somit einige Aehnlichkeit mit der weissen Rübe und dem Rettig, insofern man in ihr innerhalb der Rinde einen Cambiumring und innerhalb des letzteren ein parenchymatisches Gewebe mit zerstreuten Fibrovasalbündeln findet. Aber die Verschiedenheit giebt sich sogleich dadurch zu erkennen, dass bei Phytolacca jeder Fibrovasalstrang an seiner äussern Seite anfänglich Cambium, nachher statt desselben fortwährend Cambiform zeigt, was bei den beiden andern genannten Wurzeln nicht der Fall ist. Es kann hinzugefügt werden, dass bei Phytolacca Bastbündel oder ein denselben analoges Gebilde mangelt. Bei Brassica Rapa und Raphanus ist der nämliche Cambiumring fortwährend thätig; bei Phytolacca erlöscht ein Cambiumring um den andern, und bleibt als Cambiform im Innern der Wurzel.

Das Cambium des äussern Fibrovasalstrangkreises ist durch das zwischenliegende Strahlenmeristem zu einem ununterbrochenen Bildungsring vereinigt. Die Fibrovasalstränge sind durch Parenchymstrahlen von einander getrennt. Einwärts vom Cambiumring findet keine Zellentheilung mehr statt; dagegen sind alle ausserhalb desselben befindlichen Partieen in Vermehrung begriffen. Alle Rindenzellen theilen sich durch tangentiale und radiale Längswände sowie durch Querwände; aber diese Theilung ist ziemlich langsam. Wenn die Thätigkeit eines Cambiumringes ihrem Ende entgegen geht, so sieht man, dass in einer innern Zone der Rinde die Theilungen viel lebhafter werden, und dass sich daselbst ein neuer Bildungsring ausscheidet. Bald treten in demselben einzelne Gefässe auf und ausserhalb derselben werden Cambiumbündel deutlich, welche wieder während einer begrenzten Zeit thätig sind, um dann ihrerseits durch einen neuen Cambiumring abgelöst zu werden. Auf diese Weise verliert die Rinde periodisch ihre inneren Schichten; die an der Oberfläche auftretende Peridermbildung verzehrt dieselbe von aussen her. Der beiderseitige Verlust wird durch die Theilungen vermittelst tangentialer Wände in den Rindenzellen selbst und wahrscheinlich auch durch einen Zuwachs aus dem Cambiumring ersetzt.

Cocculus laurifolius DC. (*XIX*, 2—4).

Bei Cocculus laurifolius treten in dem Cambiumcylinder oberhalb der Wurzelspitze 4 ziemlich von einander entfernte ursprüngliche Vasalstränge auf (Fig. 2), von welchen die Gefäss- und Holzbildung nach dem Centrum hin fortschreitet. Dadurch entsteht eine kreuzförmige Fibrovasalmasse (Fig. 3), die durch Ansatz in den einspringenden Winkeln erst viereckig, dann rundlich wird. — Zuweilen indess scheint die Gefässbildung auch nur auf 2 oder 3 peripherischen Puncten zu beginnen; denn in manchen dünnen Wurzeln findet man eine elliptische oder dreieckige Fibrovasalmasse, mit je einem ursprünglichen Vasalbündel in den Ecken. — Wenn die Letztere cylindrisch geworden ist, so dauert die Gefäss- und Holzbildung nur auf einzelnen Stellen fort, und es bilden sich schmale bald einfache, bald getheilte Fibrovasalstrahlen, die durch breite Parenchymstrahlen getrennt sind (Fig. 4). Der dieselben bedeckende Bildungsring besteht aus Cambiumsträngen (c,c) und aus Strahlenmeristem (m, m). Nach aussen folgt darauf zunächst ein bastähnlicher Ring von dickwandigen Parenchymzellen (l), dann dünnwandiges Rindenparenchym (r) und zuletzt Periderm (p).

Die junge Wurzel unterscheidet sich also von den Stengeltheilen, abgesehen von der eigenthümlichen Fibrovasalbildung im Centrum und der früh eintretenden Peridermbildung, namentlich dadurch, dass der eigentliche Bast dem innern Strangkreis mangelt, und dass der Cambiumring von einem später auftretenden dickwandigen Gewebe bedeckt ist, welches rücksichtlich seines Baues mit der Umhüllung des zweiten und der folgenden Strangkreise in den Stammtheilen übereinstimmt. — Die später eintretenden Entwicklungsvorgänge scheinen dagegen genau mit denen im Stengel übereinzustimmen. Wenigstens sieht man nun nach einander neue Kreise von Fibrovasalsträngen auftreten, welche immer ein begrenztes Wachsthum haben und je von einem bastähnlichen dickwandigen Parenchymring bedeckt bleiben. Die Bildung der Kreise ist übrigens noch unregelmässiger als in den Stengeltheilen. Einmal zeigt sie sich meist einseitig stärker; ferner sieht man oft einzelne Stränge, die sich ununterbrochen durch 2 und 3 Kreise hindurch verlängern.

Wurzeln der Monocotyledonen.

Die jüngsten Zustände dieser Wurzeln zeigen eine viel grössere Mannigfaltigkeit, als es bei den Dicotyledonen der Fall ist. Wir können drei verschiedene Formen für die Ausscheidung des Cambiums aus dem Urmeristem unterscheiden; sie geschieht nämlich als solider Cylinder oder als hohler Ring oder als zerstreute Stränge. — Im ersten Falle haben wir bei dünnern Wurzeln wesentlich die nämlichen Erscheinungen wie in den Dicotyledonenwurzeln. In dem centralen Cambiumcylinder beginnt die Gefässbildung auf wenigen peripherischen Puncten, und schreitet nach dem Centrum hin fort, wo die Vasalbündel zusammentreffen.

Im zweiten Falle scheidet sich aus dem unter der Wurzelhaube befindlichen Urmeristem ein ununterbrochener Cambiumring aus, welcher das Gewebe in Rinde und Mark trennt. Dann treten dicht innerhalb der äussern Fläche des Cambiums in regelmässigen Entfernungen Gruppen von kleinen Gefässen auf, die ich als die ursprünglichen Vasalbündel bezeichnen will. Von denselben schreitet die Gefässbildung in radialer Richtung nach innen hin fort. Die Gefässe eines Bündels berühren sich aussen in der Regel unmittelbar; nach innen werden sie grösser und sind gewöhnlich von einander getrennt. Häufig vereinen sich 2, 3 oder 4 dieser radialen Gefässreihen einwärts in eine einzige, so dass 2, 3oder 4 ursprünglichen Vasalbündeln im Innern ein einziges grosses Gefäss entspricht. — Die Verholzung der übrigen Cambiumzellen beginnt in der Gegend der ursprünglichen Vasalbündel und schreitet, wie die Gefässbildung, nach innen hin fort, indem sie sich zugleich auch nach den Seiten hin etwas ausbreitet. Sie schliesst sich zuerst innen zwischen den grossen Gefässen zu einem Ring, und schreitet nun zwischen den Gefässreihen auch nach aussen hin fort. Es bleibt jedoch in der Mitte zwischen je 2 ursprünglichen Vasalbündeln eine rundliche Gruppe von dünnwandigen Zellen; diess sind die Stellen, wo das Gewebe zuletzt noch im Zustande des Cambiums war, und wo die letzten Theilungen stattfanden. Wir können daher diese Zellgruppe als Cambiformstrang bezeichnen.

So hat sich also aus dem Cambiumring ein Fibrovasalring entwickelt, in welchem das Holz und die Gefässe der innern Hälfte eine ziemlich ununterbrochene Masse bilden, während die äussern Gefässe in Gruppen vereinigt sind, zwischen denen eben so viele Cambiformstränge sich befinden. Die Zahl derselben ist sehr verschieden; bei Cymbidium z. B. sind es 10 — 30, bei Chamaedorea bis 80.

Von diesem allgemeinen Typus giebt es mannigfaltige Modificationen sowohl rücksichtlich des Fibrovasalringes als des Markes und der Rinde. Was den erstern betrifft, so findet man zuweilen jeden einzelnen Cambiformstrang umgeben von einem dichtern und festern Holzring in Form eines nach aussen (oft nur wenig) geöffneten Hufeisens. — Die ursprünglichen Vasalstränge und die Cambiformstränge alterniren nicht immer ganz regelmässig. Da die Zahl derselben der Länge nach sich ändert, so beobachtet man die Uebergänge auch auf dem Querschnitt. Sie bestehen darin, dass entweder ein Vasalstrang verschwindet und die nebenan liegenden Cambiformstränge sich mit einander vereinigen, oder dass das Cambiform zwischen zwei Vasalbündeln unsichtbar wird und diese verschmelzen. In gleicher Weise wie die Vereinigung geht die Theilung der einen und andern Stränge von statten. — Ausser der Reihe von Cambiformsträngen, welche mit den ursprünglichen Vasalbündeln alterniren, kommen bei grösserer Mächtigkeit des Fibrovasalringes noch andere ähnliche Gruppen von dünnwandigen Zellen vor, welche weiter einwärts zwischen den grossen Gefässen in ungleichen Abständen von der Oberfläche liegen. Dieselben sind den peripherischen Cambiformsträngen meist opponirt, zuweilen mit denselben alternirend; es können selbst 3 radial hinter einander liegen. Die innern Cambiformstränge sind immer in geringerer Zahl als die peripherischen vorhanden; bei Chamaedorea zähle ich z. B. auf 55 der Letztern 35 der Erstern, oder auf 68 peripherische 49 innere. In den innern Strängen hat die Zellenbildung offenbar früher aufgehört als in den äussern, was mit dem Umstande zusammentrifft, dass die Ausbildung zwischen den Gefässreihen von innen nach aussen geht. Selbst wenn ein innerer Strang mit einem peripherischen verschmilzt, was zuweilen geschieht, bemerkt man noch einen geringen Unterschied in ihren Zellen. — In dem Marke kommen zuweilen zerstreute Fibrovasalbündel vor. — Die Rinde ist von dem Fibrovasalring meist durch eine Grenzzellschicht mit eigenthümlich verdickten Wandungen scharf geschieden. — Bei Chamaedorea finden sich in der Rinde der Wurzel, wie im Stengel, Baststränge und einzelne Bastfasern.

Einen Uebergang von dem ersten zum zweiten Typus der Monocotyledonenwurzeln bilden diejenigen, in welchen wie beim ersten ein Cambiumcylinder auftritt und aus diesem ein Fibrovasalcylinder sich entwickelt, wo aber wie beim zweiten Typus die Gefässbildung auf einen peripherischen Ring des Cylinders beschränkt bleibt. Diess beobachtet man z. B. bei Cucculigo. Die Gefässbildung beginnt hier auf 17—27 peripherischen Puncten, wobei sich oft 2 – 3 Vasalreihen nach innen vereinigen. Zwischen den ursprünglichen Vasalsträngen bleiben zuletzt eben so viele Cambiformstränge zurück. Das ganze von dem Fibrovasalring eingeschlossene Gewebe wird zu Holz, in welchem zuweilen noch ein centrales Vasalbündel sich bildet.

Pandanus odoratissimus Lin. fil.

Einem dritten Typus gehören die Wurzeln von Pandanus an. Das von der sehr dicken lederartigen Wurzelhaube bedeckte Urmeristem hat die Gestalt einer flachen Kugelcalotte. Die Umwandlung von Urmeristem in Folgemeristem geht vorzüglich von der Oberfläche nach innen und von dem Centrum nach aussen, so dass man dicht hinter der Spitze noch auf eine sehr kurze Strecke zwischen dem dunkeln Mark- und Rindengewebe eine graue Zone (die Fortsetzung des apicalen Urmeristems) wahrnimmt, welche ohne Zweifel dem sogenannten Verdickungs- oder Cambiumring der Palmen entspricht. Gleichzeitig mit der Bildung des Markes geht auch die Ausscheidung der in demselben befindlichen zahlreichen und zerstreuten Cambiumstränge vor sich. Man kann das Fortschreiten dieser Differenzirung genau verfolgen. Einzelne Partieen des grauen Urmeristems werden zu hellen Cambiumsträngen, während das übrige Gewebe durch Ausscheidung von Luft in die Intercellulargänge zu dem dunklern Folgemeristem sich umwandelt, welches von innen nach aussen hin vorrückend die Cambiumbündel allmälig umschliesst. In dieser Weise verschwindet das zwischen Mark und Rinde anfänglich befindliche Urmeristem sehr bald. Dasselbe vermehrt sich lebhaft durch Theilung in allen Richtungen des Raumes, während das Folgemeristem sich zuerst überwiegend und später ausschliesslich durch Querwände, das Cambium vorzugsweise durch Längswände theilt.

Die Cambiumbündel im Innern des Markes zeigen ein beträchtliches Dickenwachsthum, und dabei zerfällt jedes in mehrere getrennte Stränge. Dieses Zerfallen geschieht dadurch, dass querüber liegende Streifen ihre Zellen nicht mehr durch Längs- sondern durch Querwände theilen und sich so in Parenchym umwandeln, welches grossmaschiger wird mit Luft in den Intercellularräumen, und bald von dem umgebenden Parenchym nicht mehr unterschieden werden kann. Häufig schneiden sich die auf einander folgenden Parenchymwände mehr oder weniger rechtwinklig, so dass aus einem ursprünglichen Cambiumstrang sich zunächst 2, dann 4, zuletzt bis auf 12 und mehr Stränge entwickeln. Die zuerst gebildeten Parenchymwände sind breit und von dem umgebenden Gewebe kaum unterscheidbar, so dass man späterhin oft kaum mehr erkennt, welche Fibrovasalstränge zusammengehören und aus einem gemeinsamen Cambiumbündel entsprungen sind. Die spätern Wände dagegen werden dünner, und zeigen mehr und mehr ein markstrahlenartiges Aussehen. — Dieser Prozess beginnt, wie die Anlegung der Cambiumstränge, im Mittelpunct der Wurzel und bewegt sich nach aussen. Die centralen Cambiumstränge haben sich je in 4 getheilt, ehe nur die peripherischen in gleicher Höhe angelegt sind.

Nach dem Zerfallen der Cambiumstränge und noch gleichzeitig mit den letzten Stadien desselben beginnt die Ausbildung der Gefässe. Alle aus einem ursprünglichen Strang hervorgegangenen Theile zeigen in dieser Beziehung ihre Zusammengehörigkeit. Es entstehen nämlich an 3, 4 oder 5 Puncten, welche ziemlich regelmässig an der Peripherie des ganzen Strangcomplexes vertheilt sind, Gruppen von kleinen Gefässen (ursprüngliche Vasalstränge). Von da aus schreitet die Bildung von grössern und zerstreut liegenden Gefässen nach innen und zur Seite hin fort. Daher kommt es, dass von allen zu einem Complex gehörenden Fibrovasalbündeln nur die Einen ursprüngliche Vasalstränge und ausser denselben 1—3 zerstreute grosse Gefässe besitzen, während die Uebrigen nur mit den Letztern begabt sind. Gewöhnlich entsprechen die 4 ursprünglichen Vasalbündel den 4 Partieen, welche aus der ersten kreuzweisen Theilung entstanden sind.

Uebrigens hat der Complex von Fibrovasalsträngen, der einem ursprünglichen Cambiumbündel entspricht, einen sehr complicirten und schwer zu entwirrenden Bau. Die Hauptmasse besteht aus Holzzellen. In den Parenchymwänden kommen kleine Baststränge vor. Ebenfalls in den Parenchymwänden, mehr noch aber eingebettet in die oberflächliche Substanz der einzelnen Fibrovasalbündel und zwar auf allen Seiten derselben, finden sich Holzbündel, bestehend aus engmaschigern und gewöhnlich etwas dickwandigern Zellen, welche meist ringförmig, zuweilen auch hufeisenförmig eine kleine Gruppe von Cambiform umschliessen. Sie bezeichnen die Heerde der Zellbildung, welche zuletzt noch in dem ganzen Complex thätig waren. Die Verholzung in ihnen beginnt ringsum an der Peripherie und schreitet nach innen hin fort.

Die Complexe von Fibrovasalbündeln sind im Centrum der Wurzel am zusammengesetztesten; sie werden nach aussen hin einfacher. Aus den Cambiumsträngen, die in geringer Entfernung von der Peripherie liegen, gehen in der

Regel nur 2 Hauptgruppen mit 2 ursprünglichen Vasalsträngen oder selbst nur 2 Fibrovasalstränge hervor.

Eigenthümlich verhält sich die peripherische Schicht von Cambiumsträngen. Jeder derselben verlängert sich in radialer Richtung sehr bedeutend, und theilt sich durch tangentiale Parenchymwände in eine Reihe von 2—4 Strängen. Die Theilung beginnt auf der innern Seite und geht nach aussen. Die innern Bündel einer Reihe sind ziemlich isodiametrisch, während die äussern noch ungetheilten Stränge fortwährend verlängert bleiben. Eine Theilung durch radiale Parenchymwände mangelt gänzlich.

Die peripherischen Cambiumstränge verhalten sich alternirend ungleich. In den Einen beginnt die Gefässbildung aussen und schreitet nach innen hin fort. Man sieht zunächst innerhalb der Oberfläche einen ursprünglichen Vasalstrang, bestehend aus einer Gruppe kleiner Gefässe; darauf folgt in radialer Richtung eine Reihe von meistens etwas entfernt stehenden grossen Gefässen. Die übrigen Elemente dieser Cambiumstränge bilden sich zu Holzzellen um. — Die mit den eben genannten peripherischen Fibrovasalsträngen alternirenden Fibralstränge bilden keine Gefässe. Statt derselben findet man in dem Holz, in das sich ihr Cambium umgewandelt hat, 1 — 3 in der Mittellinie hinter einander liegende kleine Cambiformstränge; ein grösserer Cambiformstrang befindet sich an der äussern Seite des Fibralbündels in einer rinnenförmigen Vertiefung desselben. — Wie die peripherischen Stränge verhalten sich auch die einwärts von ihnen liegenden und zu ihnen gehörenden Stränge, welche sich aus der gleichen Cambiummasse ausgeschieden haben. Sie enthalten, die Einen ein centrales grosses Gefäss, die Anderen eine centrale Cambiformgruppe. In den Parenchymwänden zwischen diesen Strängen kommen einzelne Baststränge vor.

Da die peripherischen Stränge sich in dem Längsverlauf vermehren und vermindern (in einer Wurzel von 12 M. M. Dicke fanden sich im Ganzen 500—650), so sieht man auch auf dem Querschnitt die Uebergangsstadien: nämlich Fibralstränge mit 2 Cambiformgruppen an ihrer Aussenseite und zuweilen mit einer Vasalgruppe dazwischen; ferner Fibrovasalstränge mit 2 ursprünglichen Vasalgruppen und einer Cambiformgruppe dazwischen, oder Fibrovasalstränge mit 2 seitlichen Cambiformgruppen an der Oberfläche.

Noch sind die Baststränge zu erwähnen, welche durch das ganze Markparenchym (zwischen den Complexen von Fibrovasalsträngen) und durch das Rindenparenchym zerstreut liegen. Die Cambiumstränge, aus denen sie entstehen, bilden sich auf dem ganzen Querschnitt der Wurzel fast gleichzeitig. Diess geschieht erst einige Zeit, nachdem das Cambium für die Fibrovasalstränge sich ausgeschieden hat: im Innern des Markes nämlich, wenn die Stränge des Fibrovasalcambiums sich schon ziemlich getheilt haben, — und in der Rinde, bald nachdem die peripherischen Stränge des Markes aufgetreten sind.

Das Bastcambium entspringt aus dem parenchymatischen Folgemeristem, bald aus einer einzigen bald aus einigen wenigen Zellen des Querschnittes. Die Vereinigung zweier Bastbündel ist nicht selten; man sieht alle Stadien derselben.

Die Verdickung der Zellwandung ist auf dem Querschnitt eines Baststranges nicht vollkommen gleichzeitig, geht aber doch ziemlich rasch zu Ende. Mit Rücksicht auf ihre räumlichen Verhältnisse (wo die Verholzung beginnt, wo sie aufhört und welchen Weg sie einschlägt) giebt es keine constanten Regeln. — Die Bastbildung macht die Rinde in 2 Zonen zerfallen, eine äussere bastlose, und eine innere bastführende. In letzterer sind die Stränge überall ziemlich gleich häufig; nur nehmen sie von aussen nach innen an Grösse zu.

Vergleichen wir nun, nach Betrachtung der Entwicklungsgeschichte der einzelnen Theile, ihr gegenseitiges Verhältniss, so finden wir mit Rücksicht auf den ganzen aus einem ursprünglichen Cambiumstrang des Markes hervorgegangenen Complex von Strängen sammt den umliegenden Theilen Folgendes. Zuerst verholzen die den Complex umgebenden, dann die in demselben eingeschlossenen Bastbündel. Darauf folgen die 3—5 ursprünglichen Vasalstränge; und unmittelbar nachher beginnt die Verholzung an dem Umfange der kleinen und kleinmaschigen Holzbündel, welche jetzt noch Cambium, später Cambiform einschliessen. Zuletzt bilden sich die grossen Gefässe und die sie umschliessenden Holzzellen aus.

Auf dem ganzen Querschnitt der Wurzel sind es zuerst die Bastbündel, welche verholzen, und zwar folgen sie von aussen nach innen rasch auf einander. Ehe die innersten Bastbstränge entwickelt sind, beginnt dann die Ausbildung der Gefässe in den peripherischen Cambiumsträngen des Markes. Die übrigen ursprünglichen Vasalstränge werden nun, ebenfalls ziemlich rasch von aussen nach innen fortschreitend, auf dem ganzen Querschnitt sichtbar. Auch die ganze übrige Ausbildung der Fibrovasalstränge und ihrer Theile ist an der Peripherie etwas früher als im Centrum.

Noch ist zur Vervollständigung des Bildes zu bemerken, dass das Gewebe des Markes, nach dem Auftreten der ursprünglichen Cambiumstränge, auf dem Querschnitte sich nur sehr wenig vermehrt; dass das Nämliche mit der äussern Rinde der Fall ist, während die innere etwas stärker zunimmt; dass dagegen im Mark- und Rindenmeristem sehr zahlreiche Querwände auftreten. — Eine eigenthümliche Grenzzellschicht mit einwärts verdickten Wandungen schliesst die Rinde gegen das Mark hin ab. Innerhalb dieser Grenzschicht und ausserhalb der peripherischen Fibrovasalstränge finden sich 3—4 Schichten von dünnwandigen, tangential-verlängerten Zellen. — In Mark und Rinde kommen einzelne grosse und sehr lange Zellen mit Rhaphidenbündeln vor; sie haben die Länge von 10—40 Parenchymzellen. — Ringförmiges Periderm schneidet die äussere Rinde als Borke ab. Die Peridermzellen bilden wie gewöhnlich radiale Reihen; zeichnen sich aber dadurch aus, dass je die innerste etwas grössere Zelle einer solchen Reihe ihre innere und ihre Seitenwandungen verdickt.

Nachdem ich das Dickenwachsthum der Organe mit Rücksicht auf die Vertheilung und Folge der Fibrovasalmassen auf dem Querschnitt betrachtet habe, will ich in gleicher Weise das Längenwachsthum untersuchen. Es handelt sich also darum, wie die Fibrovasalmassen, namentlich die Stränge von dem Grunde bis zur Spitze eines Organs angeordnet sind, wie sie in dieser Richtung auf einander folgen, und wie sie in die Länge wachsen.

Beim Wachsthum haben wir dreierlei Prozesse zu unterscheiden, 1) das Auftreten des Cambiums, 2) die Verholzung der Cambiumzellen, 3) die Streckung derselben. So weit ich die Entwicklungsgeschichte kenne, so sind diese drei Prozesse immer in Uebereinstimmung, folgen regelmässig auf einander und bewegen sich daher nach der nämlichen Richtung. Derjenige Theil einer Fibrovasalmasse, welcher früher als Cambium angelegt wird, bildet auch früher seine Zellen aus, und erreicht früher seine vollständige Ausdehnung. Ich kenne keine Fibrovasalstränge, deren Cambium nach einer Längsrichtung hin angelegt würde, während die später eintretende Verholzung in umgekehrter Richtung sich bewegte. Es sind aber nicht alle Entwicklungsvorgänge mit gleicher Leichtigkeit zu erkennen; namentlich ist das erste Auftreten des Cambiums oft beinahe unzugänglich. Dagegen kann das Erscheinen der ersten Gefässe als ein deutliches und leicht zu controlirendes Merkmal bezeichnet werden. Wenn ich daher in der Folge von den Fibrovasalsträngen sage, dass sie nach oben oder nach unten wachsen, oder dass sie überall gleichzeitig angelegt werden, so verstehe ich darunter, dass ihre ersten Gefässe von unten nach oben oder umgekehrt, oder in der ganzen Länge gleichzeitig sichtbar werden.

Die Wurzeln, cylindrische Organe, an welchen vor der Cambiumbildung keine seitlichen Organe auftreten, zeigen einen ziemlich streng parallelen Verlauf der Fibrovasalmassen und ihrer Theile, welche am untern (apicalen) Ende sich verlängern. Nur an der Abgangsstelle eines Wurzelastes sind die Stränge des Letztern von dem Puncte, wo sie an die Längsstränge sich anlegen, bis da, wo sie die Hauptwurzel verlassen, in querer Richtung gelagert; und ausserdem können zwischen Beiden Verbindungsbündel vorkommen.

Bei den Dicotyledonen, wo die Gefässbildung mit 2, 3 oder 4 ursprünglichen Vasalsträngen anhebt, scheinen die Letzteren ohne Unterbruch und Störung durch die ganze Wurzel zu verlaufen. Dasselbe ist ohne Zweifel auch bei den Monocotyledonenwurzeln mit gleicher Zahl von ursprünglichen Vasalbündeln der Fall; wird aber ihre Zahl beträchtlicher, so variirt sie in verschiedener Höhe. Gewöhnlich beobachtet man, dass mit dem Dickerwerden der Wurzel die Menge der in einen Kreis gestellten peripherischen Vasalstränge und der mit ihnen alternirenden Cambiformstränge zunimmt, mit dem Dünnerwerden abnimmt. Damit ist bald eine Theilung oder Vereinigung, bald ein freies Auftreten und Verschwinden der einen und andern Stränge verbunden. Der centrale Vasalstrang in den Wurzeln von Curculigo verschwindet stellenweise und erscheint wieder. Das Nämliche ist mit den Fibrovasalsträngen innerhalb des Fibrovasalringes von Chamaedorea der Fall; wenn sie endigen, so verschwinden zuerst die Gefässe, und es bleibt noch eine Strecke weit ein blosser Fibralstrang übrig.

In der Wurzel von Pandanus gehen ausser den Veränderungen der peripherischen Vasal- und Cambiformstränge, welche sie mit den andern Monocotyledonen gemein haben, mannigfaltige andere, aber immer sehr langsame Veränderungen vor. Die Complexe von Fibrovasalsträngen im Innern, welche je aus einem ursprünglichen Cambiumbündel entstanden sind, wechseln in ihrer Zusammensetzung, in der Zahl ihrer Parenchymwände, ihrer Vasal-, Cambiform- und Basstränge. Sowohl unter den Fibrovasalsträngen als unter den Baststrängen des Markes und der Rinde finden Vereinigungen und Trennungen statt.

Bei gleicher Form unterscheiden sich die Stengel von den Wurzeln dadurch, dass sie seitliche Organe (die Blätter) erzeugen, ehe die Cambiumbildung in ihnen auftritt. Daher rührt es, dass einerseits die Cambium- und die aus ihnen hervorgehenden Fibrovasalstränge des Stengels in bestimmten Beziehungen zu den Blättern stehen, und dass anderseits an den Stellen, wo die Blätter befestigt sind (in den Knoten), verschiedene Störungen im Längsverlauf der Stränge stattfinden.

Das Verhältniss der Fibrovasalstränge des Stengels zu denen der Blätter war schon lange ein Problem der Pflanzenphysiologen. Indess wurde erst von Mohl dasselbe für die Palmen durch wirkliche Beobachtungen entschieden. Ich zeigte dann durch Untersuchungen der Stammspitze, dass die Dicotyledonen und Gefässcryptogamen, was die Laubregion betrifft, mit den Monocotyledonen übereinstimmen, dass auch bei ihnen der Stengel in der Laubregion keine eigenen, an der Spitze unbegrenzt fortwachsenden Fibrovasalstränge besitzt, sondern dass dieselben in die Blätter ausbiegen (Zeitschrift f. wiss. Bot. 1817). Diese Thatsache wurde von Hanstein bestätigt, von Andern dagegen theils bestritten, theils unberücksichtigt gelassen. Indess lässt sich nichts leichter und sicherer darthun, sowohl aus dem anatomischen Verhalten, als aus der Entwicklungsgeschichte des einzelnen Stranges und der Aufeinanderfolge aller Stränge.

Die Fibrovasalstränge in den Stengeltheilen und Blättern sind dreierlei Art: solche die beiden Organen angehören, indem sie ihren untern Theil im Stengel, ihren obern im Blatte haben, und die wir desshalb als gemeinsame bezeichnen müssen, und solche die dem einen oder andern Organ ausschliesslich angehören und die wir als stammeigene und blatteigene unterscheiden können. Berücksichtigen wir zuerst bloss im Allgemeinen die Vertheilung der 3 Arten von Fibrovasalsträngen, so ergiebt sich Folgendes. Die zuerst entstehenden und am stärksten sich ausbildenden in Blättern und Stengeln sind bei allen Gefässpflanzen gemeinsame; erst später kommen gewöhnlich zu denselben stammeigene und blatteigene hinzu. Diese Regel gilt überall, wo die Blätter Fibrovasalstränge enthalten; eine Ausnahme machen jedoch die Marsileaceen und Polypodium, ferner Myriophyllum, Hippuris, Callitriche, wo ausser den gemeinsamen schon von Anfang an auch stammeigene Stränge vorkommen. — Wenn aber die Blätter gefässlos sind, so werden auf längern Strecken oder überall nur stammeigene Stränge erzeugt. In der Laubregion kommt Letzteres sehr selten vor (z. B. bei

Psilotum); schon häufiger finden wir es in der Niederblattregion und am häufigsten in der Hochblattregion, weil hier die Blätter öfter als anderswo verkümmern und bloss aus Zellgewebe zusammengesetzt sind. — Sind die Blätter in einem oder in mehrern successiven Quirlen sehr gedrängt beisammen, so besitzen oft einzelne oder mehrere derselben bloss blatteigene Stränge, die von denjenigen anderer Blätter entspringen. In der Laubregion ist diese Erscheinung selten (Myriophyllum, Hippuris), in den Blüthen dagegen häufig.

Verfolgen wir die Entwicklungsgeschichte eines Stengels bei der Keimung oder eines Astes von der ersten Anlage aus, so sehen wir, dass sich seitlich unter dem Scheitel desselben Blattanlagen bilden. Dann tritt ein Fibrovasalstrang (zuweilen sind es auch 2) auf, welcher von dem Grunde des Stengeltheiles bis in die Spitze des ersten Blattes reicht. Darauf wird ein zweiter sichtbar, welcher ebenfalls durch den Stengel geht und in das zweite Blatt ausbiegt. Nachher erhalten das dritte, vierte, fünfte und alle übrigen in gleicher Weise ihren Fibrovasalstrang. — In der Terminalknospe finden wir daher immer in einer Höhe, wo die Blattanlagen noch aus Zellgewebe bestehen, auch in dem Stengel keine Fibrovasalstränge; und sein oberster Strang endigt immer in ein Blatt.

Manchmal erhalten die Blätter nur einen Strang aus dem Stengel, welcher ihren Mittelnerv darstellt. Zuweilen bekommen sie deren gleichzeitig 2, neben der Medianlinie liegende. Sehr häufig treten 3 oder mehr, selbst sehr zahlreiche Stränge aus dem Stengel in das Blatt ein, welche in bestimmter Ordnung auf einander folgen; die letzten bilden sich zuweilen erst, wenn mehrere der obern Blätter bereits ihre mittlern Stränge erhalten haben.

In der Keimpflanze reichen die Fibrovasalstränge der untersten Blätter bis an den Grund des Stengelchens, um daselbst in eine einzige Masse zu verschmelzen. Die Stränge der untersten Blätter eines Astes treten in den Stamm oder Hauptast ein, um sich daselbst entweder sogleich oder weiter unten an dessen Stränge anzulegen. Diejenigen aller übrigen Blätter reichen mehr oder weniger tief in ihrem Stengeltheil abwärts, bis sie sich mit Strängen, die in untere Blätter ausgehn, vereinigen.

So enthalten also der Stengeltheil und das Blatt zuerst bloss gemeinsame Fibrovasalstränge, welche in dem erstern von unten nach oben eine sympodiumartige Anordnung haben. Zuweilen hat die Strangbildung damit ihr Ende erreicht; gewöhnlich folgen nun aber in grösserer oder geringerer Menge noch die blatteigenen und die stammeigenen Stränge nach. Was die Letztern betrifft, so sind sie anfänglich immer solche, welche zwischen den ursprünglichen (gemeinsamen) Strängen schief verlaufen, und dieselben vorzugsweise in tangentialer Richtung zu einem Netz mit lang gezogenen Maschen vereinigen. Später bilden sich bei mehrern Gewächsen (Phytolacca, Cocculus, Pandanus) noch fortwährend stammeigene Stränge, welche ausserhalb der frühern liegen, und in der Regel schon bei ihrem Entstehen zu verlängerten Maschen verbunden sind.

Ueber das Längenwachsthum der Fibrovasalstränge des Stengels wurden bisher verschiedene Ansichten ausgesprochen. Nach der gewöhnlichen Ansicht sollten sie von unten nach oben, nach Andern von oben nach unten wachsen; und es fehlte selbst nicht an vermittelnden Stimmen, welche das Wachsthum zugleich nach oben und nach unten gehen liessen. Ein allgemein gültiges Gesetz giebt es nicht. Wir müssen genau zwischen den verschiedenen Arten von Strängen und zwischen den verschiedenen Pflanzen unterscheiden.

Für die gemeinsamen Fibrovasalstränge der Laubregion von Dicotyledonen und Coniferen kann es als Regel ausgesprochen werden, dass sie an der Grenze ihrer beiden Hälften (an der Stelle, wo sie in das Blatt ausbiegen) sich zu bilden anfangen, dass sie von da in dem Stengel nach unten und in dem Blatt nach oben wachsen. Die Verlängerung geht zwar rasch von statten; dennoch lässt sie sich in allen Stadien des Fortschrittes beobachten, namentlich was die Gefässbildung betrifft. Es giebt in der Stammspitze gemeinsame Cambiumstränge, in denen erst ein einziges Gefäss, und zwar an der Ausbiegungsstelle sichtbar ist; ferner Stränge, deren Stengeltheil oben entwickelte Gefässe besitzt, etwas tiefer ein unentwickeltes Gefäss zeigt, und weiter unten noch bloss aus Cambium besteht. Längs- und successive Querschnitte geben darüber sichern Aufschluss. — Die allgemeine Regel wird nicht gestört durch eine Erscheinung, die man seltner wahrnimmt. Wenn ein Fibrovasalstrang sich in einem untern Knoten an die Biegungsstelle eines Andern anlegt, so entstehen hier in einzelnen Fällen einige Gefässe, ehe die herabsteigende Gefässbildung diese Stelle erreicht hat. Für diese Fälle könnte man also sagen, dass der Stengeltheil eines Stranges von oben nach unten, an der Basis aber von unten nach oben sich entwickele.

Ich habe das Abwärtswachsen der gemeinsamen Fibrovasalstränge an folgenden dicotyledonen Pflanzen sicher beobachtet: Phaseolus, Lathyrus, Medicago, Lupinus, Sarothamnus, Prunus, Tropaeolum, Euphorbia, Mercurialis, Aesculus, Acer, Dianthus, Spergula, Cerastium, Passiflora, Viola, Iberis, Clematis, Ribes, Ampelopsis, Vitis, Aralia, Anagallis, Achimenes, Tecoma, Russelia, Antirrhinum, Scopolina, Stachys, Vinca, Fraxinus, Jasminum, Sambucus, Galium, Othonna, Centranthus, Aristolochia, Humulus, Urtica, — ebenso bei Pinus, Cupressus. — Die Theorie von Schacht, dass die Gefässbündel im Keim unterhalb der Plumula entspringen, dass sie sich fernerhin nur aus sich selbst, durch Zweigbildung vermehren können, und desshalb ein zusammenhängendes System bilden, welches die Pflanze bis in die Blätter, Blüthen u. s. w. durchziehe (Anat. u. Phys. I, 307), entbehrt daher aller Begründung. Das Netz ist zwar vorhanden, entsteht aber nicht durch Verzweigung.

Für die Monocotyledonen mangeln mir zahlreichere Beobachtungen. Im Stengel von Chamaedorea und Cordyline giebt es Fibrovasalstränge, die ebenfalls an der Stelle, wo sie in das Blatt ausbiegen, sich zu bilden anfangen, und von da ihr Wachsthum nach oben in das Blatt, nach unten durch den Stamm fortsetzen; aber die Verlängerung nach unten scheint noch bedeutend rascher von statten zu gehn, als bei den Dicotyledonen. Einige Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen, dass andere Stränge auch von unten nach oben angelegt werden, wenn nicht etwa eine ungleichmässige und unregelmässige Ausbildung dabei im Spiele ist. —

Die gemeinsamen Stränge der Laubregion von Myriophyllum beginnen ebenso an der Ausbiegungsstelle, und verlängern sich von da rasch durch das Stengelglied nach unten und durch das Blatt nach oben.

Bei Equisetum, wo die Fibrovasalstränge nur bis zum nächst untern Knoten reichen, bildet sich der mitten im Internodium befindliche Theil zuerst, und erst später das untere Ende sowie die obere im Blatt liegende Hälfte. — Bei den Marsileaceen dagegen wachsen die Stränge des Stengels, welche in die Blätter ausgehen, ausschliesslich von unten nach oben.

Die gemeinsamen Fibrovasalstränge haben bei den Phanerogamen, so weit sie im Stengel liegen, in verschiedener Höhe eine ungleiche Zusammensetzung, wie das aus den Untersuchungen von Mohl an Palmen, und von Hanstein an Arabis bereits bekannt ist. Die Veränderungen bestehen im Allgemeinen darin, dass der Vasaltheil des gleichen Stranges von oben nach unten an Mächtigkeit abnimmt, dass oben fast ausschliesslich oder vorherrschend abrollbare Gefässe vorkommen, dass dieselben nach unten allmälig verschwinden und dass in dem untersten Theil nur noch poröse Gefässe vorhanden sind. Wie der Vasaltheil nach unten sich verhältnissmässig vermindert, so vermehrt sich dagegen der Fibraltheil, und kann auch zuletzt allein übrig bleiben.

Diese beiden Thatsachen bezüglich des von oben nach unten fortschreitenden Wachsthums und der von oben nach unten sich ändernden Zusammensetzung der gemeinsamen Fibrovasalstränge (so weit sie im Stengel liegen) gelten als Regel, wie ich glaube, für alle Dicotyledonen und Monocotyledonen. Sind aber die Blätter überall oder streckenweise bloss aus Zellgewebe gebildet, so finden Abweichungen statt, welche theils darin bestehen, dass die Stränge des Stengels wirklich von unten nach oben wachsen, theils darin, dass sie im ersten Stadium stückweise erscheinen und erst im zweiten einen ununterbrochenen Faden bilden, theils endlich darin, dass sie entweder keine oder dann anderweitige Modificationen in ihrem Bau zeigen. Es mangeln mir die zu allgemeinen Regeln nothwendigen Beobachtungen für dieses abweichende Verhalten, welches namentlich in den Blüthenständen nicht sehr selten ist. Indessen zeigt sich auch hier in verschiedenen Erscheinungen eine Annäherung an die in der Laubregion geltenden Regeln. Dahin gehört z. B., dass bei den Cruciferen die Fibrovasalstränge der in der Entwicklung begriffenen Blüthenspindel, statt in derselben fortzuwachsen, in die seitlichen Blüthen ausbiegen, so dass also hier die Blüthenknospen ganz die Rolle spielen wie die Blattanlagen in der Laubregion. Wir können daher die allgemeine Regel wohl so aussprechen, dass die ersten Fibrovasalstränge jeder Region eines Stengeltheils immer in die seitlichen Organe austreten, wenn dieselben sich rascher entwickeln als der Stengeltheil selber.

An das gewöhnliche Verhalten, jedoch mit einer bemerkenswerthen Abweichung, schliessen sich einige Wasserpflanzen an (Hippuris, Myriophyllum, Callitriche). Dieselben haben statt des Markes einen Fibrovasalcylinder, welcher an der Spitze in gleichem Maasse wie der Stengel ununterbrochen und unbegrenzt fortwächst. Etwas unterhalb seiner Spitze legen sich die in die Blätter ausgehenden

Stränge an, welche, wie ich bereits angeführt habe, ebenfalls an der Ausbiegungsstelle sich zu bilden anfangen, rasch nach unten wachsen, und sich am Grunde des Internodiums oder auch schon höher mit dem Fibrovasalcylinder vereinigen. — Vielleicht steht dieses Verhalten mit der verhältnissmässig langsamen Ausbildung der Blätter, die namentlich bei Myriophyllum und Hippuris auffallend ist, im Zusammenhang.

Eine andere nicht minder merkwürdige Abweichung kommt bei den Marsileaceen vor, und hängt mit der eigenthümlichen Blattstellung zusammen. Der kriechende Stengel bildet nur an der obern Seite Blätter, an der untern Seite Wurzeln. Dem entsprechend verhält sich seine obere Hälfte wie ein beblätterter Stammtheil, indem die gemeinsamen Fibrovasalstränge in die Blätter ausbiegen und von denen der Phanerogamen nur darin verschieden sind, dass auch ihr Stengeltheil von unten nach oben wächst. Die untere, dem Boden zugekehrte (blattlose) Hälfte stimmt mit den Wurzeln überein; in derselben wachsen 2 stammeigene Stränge ununterbrochen fort. — Aehnlich verhält sich Polypodium vulgare Lin.

Wie verhält sich die Stellung der Blätter zu der Anordnung der Fibrovasalstränge im Stengel? Diese Frage hat bis jetzt vorzüglich zwei Beobachter Lestiboudois und Hanstein beschäftigt; sie war auch eine Hauptaufgabe meiner eigenen Untersuchungen. Lestiboudois (Ann. sc. nat. S. III. T. 10) geht von der Annahme aus, dass die Gefässbündel des Stengels es sind, welche die Blätter erzeugen, indem in der Regel je zwei derselben an ihren zugekehrten Seiten Stränge abgeben, die sich mit einander vereinigen und in das Blatt eintreten. Er unterscheidet demnach faisceaux réparateurs und faisceaux foliaires. Indessen existiren die faisceaux réparateurs nur in der Idee des Verfassers, welcher sie nach Erforderniss unter sich und mit den faisceaux foliaires verschmolzen sein, sich theilen (dédoubler) und abortiren lässt. Es versteht sich, dass damit Alles erklärt werden kann, dass aber auch die Entwicklungsgeschichte der ersten besten Pflanze das ganze künstliche Gebäude umstürzt.

Der Ausspruch von Lestiboudois, dass die Blattstellung nichts anders als der Ausdruck der Vertheilung der Fibrovasalstränge im Stengel sei, dass beide somit genau mit einander übereinstimmen, musste vermittelst einer andern Methode geprüft werden. Hanstein, welcher gleichzeitig mit meinen eigenen Untersuchungen sich dieser Aufgabe unterzog, ist zu einem ähnlichen allgemeinen Resultate gelangt wie Lestiboudois. Derselbe (Monatsbericht der k. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 5. Febr. 1857 und Jahrbücher für wiss. Bot. I, 233) sagt, die spezifische Blattstellung jeder Pflanze werde durch die Anordnung der Blattspuren d. h. der gemeinsamen Fibrovasalstränge) fixirt und beschränkt, und die Höhe des Divergenzbruches hänge von der Zahl der nebengeordneten Stränge ab, und er meint selbst, dass aus der Anatomie, welche uns eben ohne Weiteres in Horizontalprojection zeige, was äusserlich kaum ohne möglichen Irrthum abgeschätzt werden könne, mit viel grösserer Sicherheit auf die wirkliche Position der Blätter sich schliessen lasse.

Da die gemeinsamen Stränge des Stengels in bestimmter und regelmässiger Weise in die Blätter ausbiegen, so ist vor Allem aus sicher, dass zwischen ihrer Anordnung und zwischen der Blattstellung gewisse innige Beziehungen bestehen. Es ist aber eine andere Frage, ob die von Hanstein behauptete Identität vorhanden sei. Meine Untersuchungen beweisen in letzterer Beziehung das Gegentheil. Die Fibrovasalstränge haben innerhalb gewisser Grenzen eine von den Blättern unabhängige und selbständige Anordnung. Die Abweichung kann selbst so weit gehen, dass beide total verschiedene Lagerungsverhältnisse zeigen. Ehe ich den Beweis antrete, muss ich eine Bemerkung über die Phyllotaxis vorausschicken.

Ich unterscheide 3 verschiedene Arten (oder Stadien) der Blattstellung. Die erste kommt an dem entwickelten Stengel vor; die zweite in der Knospe, sobald die Blätter sichtbar werden; die dritte berücksichtigt die Puncte, welche dieselben bei der allerersten, der Beobachtung unzugänglichen Anlegung eingenommen haben mögen.

Die ersten beiden Blattstellungen gehören dem ersten und letzten Stadium an, welches mit Sicherheit durch sinnliche Wahrnehmung ermittelt werden kann. Sie stimmen sehr häufig nicht mit einander überein, und zeigen die Veränderungen, welche mit der Stengeloberfläche rücksichtlich der gleichen oder ungleichen Flächenzunahme ihrer einzelnen Partien vor sich gehen. — Die Blätter rücken nicht bloss in verticaler Richtung aus einander, sondern verändern auch ihre Horizontalabstände. Die Ursachen davon liegen theils in dem ungleichen Wachsthum der verschiedenen Internodien und verschiedenen Stengelseiten, theils in Drehungen und Biegungen des Stengels.

Blätter, die im Knospenzustande spiralständig sind und gleiche Abstände zeigen, können dadurch, dass abwechselnd ein Internodium sich streckt und 1 oder mehrere verkürzt bleiben, eine paarige oder Quirlstellung annehmen. Dabei verändern sich auch ihre Divergenzen mehr oder weniger und werden nach Erforderniss grösser oder kleiner, um die gleichmässigen Entfernungen zwischen den Elementen des gleichen Quirls herzustellen.

Sehr häufig sind die Spiralstellungen im Knospenzustande verschieden von denjenigen am ausgebildeten Stengel, weil der Letztere sich mehr oder weniger gedreht hat. Wenn die Stengeloberfläche durch Kanten oder Furchen gezeichnet ist, so erkennt man die Drehung leicht. Bei glatter cylindrischer Oberfläche lässt sie sich nur aus der veränderten Blattstellung darthun. Es ist nicht sehr selten, dass die Blätter an der entwickelten Pflanze deutlich die Stellungsverhältnisse $^1/_3$, $^2/_5$, $^3/_8$ zeigen, während wir in der Terminalknospe weder das 4., noch das 6., noch das 9. Blatt senkrecht über dem ersten finden und daher auf $^5/_{13}$, $^8/_{21}$ oder eine noch complizirtere Stellung schliessen.

Wir können daher nie an dem ausgebildeten Zweig mit Sicherheit die ursprünglichen Stellungsverhältnisse erkennen. Wir müssen davon, abgesehen von den genannten leicht zu constatirenden Thatsachen, zum voraus schon überzeugt sein, wenn wir bedenken, dass Drehungen eine so ganz allgemeine Erscheinung sind, und dass schon die geringsten Drehungen die Stellung der Blätter verändern. Wenn z. B. auf die ganze Länge eines jeden Internodiums nur eine Abweichung von $^1/_{65}$, $^1/_{104}$, $^1/_{273}$, $^1/_{442}$ des Umfanges statt hat, so verwandelt sich $^5/_{13}$ in $^2/_5$, $^3/_8$, $^8/_{21}$, $^{13}/_{34}$. Aehnlich wie die Drehung wirkt auch das ungleichseitige Wachsthum der Stengelglieder, welches eben so häufig vorkommt.

Die Blattanlagen der Phanerogamen und der meisten Gefässcryptogamen lassen sich nicht bis zur ersten Zelle zurück verfolgen. Sie werden erst in einiger Entfernung von dem Scheitelpunct des Stengeltheils als vielzellige Warzen sichtbar, die sich über die Oberfläche erheben. Es ist möglich, dass diese Zellgewebshügel sich noch in der nämlichen gegenseitigen Lage befinden, wie sie ursprünglich gebildet wurden; es ist aber eben so wohl gedenkbar, dass sie ihre Stellung geändert haben. Bei der Kürze der Internodien könnte die Lageveränderung nicht eine Folge von Drehung, wohl aber von stellenweise vermehrter Zellbildung und stärkerer Zellenausdehnung sein. — Wir können also neben den beiden wirklichen Blattstellungen, die der Beobachtung und Messung zugänglich sind, noch eine hypothetische unterscheiden; es ist diejenige, welche vorzüglich das Ziel der Morphologen ist, und für welche von denselben gewichtige Gründe beigebracht werden. Es scheint mir aber, dass man bisher allzuwenig zwischen den 3 vorhin angeführten Blattstellungen unterschieden hat, und dass eine strenge Sonderung derselben geeignet wäre, über die Zulänglichkeit der bisherigen Methoden einiges Licht zu verbreiten.

Für die Berechtigung zu der Annahme einer besondern genetischen Blattstellung, wie ich sie am liebsten im Gegensatz zu den beiden andern nennen möchte, scheinen mir namentlich folgende Thatsachen zu sprechen. Die wirklichen Stellungsverhältnisse lassen sich auf kein allgemeines einheitliches Prinzip zurückführen, dessen Existenz doch sehr wahrscheinlich ist. Wir finden, dass in der nämlichen Pflanze die Stellungen wechseln und in einander übergehen, so dass an einem Stammtheil z. B. die Blätter unten in einer Spirale, oben in Quirlen stehen und umgekehrt. Wir finden ferner, dass Pflanzen, welche im normalen Zustande constant die nämliche Blattstellung zeigen, unter abnormalen Verhältnissen einmal dieselbe ändern, dass z. B. die Laubblattquirle von Casuarina, Hippuris, Equisetum oder die Blüthenquirle sich in Spiralen auflösen. Da wir nun wissen, dass von dem Knospenzustande bis zur vollkommenen Ausbildung die Spiralstellung sich zu Quirlen umbilden kann, so ist wohl möglich, dass eine gleiche Veränderung von der ersten Bildung bis zum Sichtbarwerden der Blattanlagen statt hat. In der That erkennt man in den Quirlen bei ihrem ersten Auftreten zuweilen noch eine spiralige Folge der Elemente, welche nachher verschwindet; während bei andern eine vollkommen gleichmässige oder sogar eine einseitige Ausbildung sichtbar ist.

Endlich muss noch hinzugefügt werden, dass die Abstände der jüngsten Blattanfänge sowohl bei spiraliger als bei quirlständiger Anordnung häufig nicht vollkommen gleich gross sind, und dass einzelne bis auf 10 Grade die mittlere Divergenz überschreiten, andere um eben so viel hinter derselben zurückbleiben können. Eine solche Ungleichheit der Divergenzen in der genetischen Blattstellung ist nun in keiner Weise wahrscheinlich, und daher muss man jedenfalls annehmen, dass bis zum ersten Sichtbarwerden der Blattanfänge schon beträchtliche Veränderungen in ihren Stellungen stattfinden können. Es bedarf aber nicht grösserer Abweichungen von der ursprünglichen Lage als der eben genannten, um eine Spiralstellung in eine andere oder in eine Folge von Quirlen zu verwandeln. Wenn jedes Blatt in gleicher Richtung um 15° sich von dem andern entfernt, so geht die Stellung $^1/_3$ über in $^3/_8$ oder umgekehrt; $^2/_5$ und $^5/_{13}$ werden durch eine Abweichung von 5½°, $^3/_8$ und $^5/_{13}$ durch eine solche von 3½°, $^3/_8$ und $^8/_{21}$ durch eine solche von 2° in einander übergeführt. Wenn eine Folge von 3, 4 oder 5zähligen Quirlen in eine ununterbrochene Spirale aufgelöst wird, so kann diess in einer Weise geschehen, dass die mittlere Divergenz 140°, 135° und 137° beträgt, Werthe die ganz mit denen der gewöhnlichen Schraubenstellungen übereinstimmen; — und wenn jene Quirle wirklich aus einer Spirale mit gleichen Abständen entstanden sind, so haben sich die Divergenzen für 3zählige Quirle um 20° vermehrt und vermindert, für 5zählige Quirle dagegen haben sich die einen um 7° erweitert, die andern um 29° verengt. Die Möglichkeit, alle Stellungsverhältnisse bei den Phanerogamen auf eine ursprüngliche Schraubenlinie zurückzuführen, ist sicher vorhanden. Indessen dürfte eben so gewiss sein, dass, bevor wir etwas Näheres über die Vorgänge der Zellenbildung im Scheitel des Stengels wissen, alle Versuche, eine genetische Blattstellung zu construiren, blosse Theorien bleiben.

Indem ich von dieser Abschweifung auf mein Thema zurückkomme, so fragt es sich nun, ob die Anordnung der Fibrovasalstränge mit der einen oder der andern der genannten 3 Blattstellungen übereinstimme. Es kann das, der Natur der Sache nach, keinen andern Sinn haben als den, dass die Vertheilung der Stränge auf dem Querschnitt des Stengels die Horizontalprojection der Blattinsertionen sei, wie diess auch von Hanstein ausgesprochen wurde. Untersuchen wir zuerst die Bedingungen, welche für eine solche Uebereinstimmung mit einer der beiden wirklichen Blattstellungen nothwendig sind, so lassen sich dieselben einfach folgendermaassen aussprechen: Die Fibrovasalstränge müssen in dem nicht gedrehten Stengel eine in tangentialer Richtung (von aussen oder innen angesehen) senkrechte Richtung zeigen, und in dem gedrehten müssen sie eine Schraubenlinie beschreiben, welche genau der Drehung entspricht, die der Stengel seit ihrer Bildung erfahren hat.

Die Richtigkeit dieses Ausspruchs ist leicht einzusehn. Denken wir uns einen ungedrehten Stammtheil mit irgend einer Blattstellung, so muss diese sich genau in den medianen Fibrovasalsträngen abspiegeln, wenn der Verlauf derselben tangential-senkrecht ist. Macht er aber eine Abweichung von der verticalen Richtung nach rechts oder nach links, so ist, weil die lothrecht über einander liegenden Puncte sich nicht mehr decken, sondern neben einander zu liegen kommen, die Anordnung der Stränge jedesmal eine andere als die der Blätter. Wem diese Thatsache nicht zum voraus klar sein sollte, der wird sich von der Richtigkeit derselben durch eine Construction auf dem Papier sogleich überzeugen. Er wird finden, dass z. B. die Stellung $^3/_8$ durch einen schiefen Verlauf der Stränge in die Stellungen $^2/_5$ oder $^1/_3$ übergehen kann, wenn der Strang des 9. Blattes statt auf den des 1. schon auf den des 4. oder 6. trifft, dass die nämliche $^3/_8$ Stellung in $^5/_{13}$ oder $^8/_{21}$ sich verwandeln kann, wenn der Strang des 9. Blattes nicht bloss dem des 6. und 4., sondern auch des 1. Blattes ausweicht und neben demselben nach unten verläuft. Ueberhaupt kann sich durch einen schiefen Verlauf der Stränge irgend eine Stellung derselben in jede denkbare andere umändern, und wir müssen sagen, dass die Anordnung der Stränge nur dann, wenn sie in dem ungedreht gedachten Stengel senkrecht hinabsteigen, der Ausdruck der Blattstellung ist.

Untersuchen wir nun den Längsverlauf der Fibrovasalstränge, so finden wir in der That, dass derselbe sehr häufig ein in tangentialer Richtung schiefer ist. Durch die Internodien gehen sie zwar gewöhnlich ziemlich vertical. In den Knoten aber erfahren sie in der Regel grössere oder geringere Abweichungen von dieser Richtung; und es ist mir kaum eine Pflanze bekannt, in welcher die Stränge, falls sie durch 2 oder mehrere Stengelglieder gehen, einen genau tangential-senkrechten Verlauf zeigen. Wenn ein Strang von oben kommend auf einen untern trifft, so vereinigt er sich nicht mit demselben, sondern biegt nach rechts oder links aus, und steigt neben demselben hinab. Häufig entspringt später von der Biegungsstelle ein 2. Bündel, welches auf der andern Seite hinabsteigt, so dass der von dem höhern Blatt kommende Strang in 2 Schenkel gespalten erscheint, welche denjenigen des untern Blattes zwischen sich fassen. Aber ursprünglich beobachtet man immer einen einfachen, ausbiegenden Strang, und in vielen Fällen bleibt er es zeitlebens, indem die Bildung des zweiten Schenkels nicht erfolgt.

Die Abweichungen, die ein Strang in den successiven Knoten erfährt, finden gewöhnlich in der nämlichen Richtung statt, wodurch er einen spiraligen Verlauf erhält (der von der Drehung des Stengels unabhängig ist). Bei Dicotyledonen lässt sich derselbe in manchen Fällen mit Sicherheit nachweisen. Am auffallendsten ist er jedoch bei Monocotyledonen, wo z. B. die Medianbündel der Blätter von Chamaedorea auf die Länge von 5 Internodien einen ganzen Umlauf und mehr machen. In der Regel stimmen alle oder doch weitaus die meisten Fibrovasalstränge des nämlichen Stengeltheils in der Richtung ihres spiraligen Verlaufs überein. Die Folge davon ist, dass sie eine von den Blättern verschiedene, aber doch mit denselben verwandte Anordnung zeigen. Dieser Umstand, verbunden mit der Thatsache, dass die Abweichungen meist sehr gering sind, lässt die wahren Verhältnisse leicht übersehen.

Dass die Fibrovasalstränge im ungedreht gedachten Stengel wirklich eine mehr oder weniger schiefe Richtung einschlagen, und dass ihre Anordnung demnach deutlich von derjenigen der Blätter abweiche, dafür könnte ich manche

Digitized

Beispiele anführen. Hier möge Eines genügen; für die übrigen verweise ich auf die später folgende Aufzählung. Ich wähle gerade eine Pflanze aus, welche mit Arabis, auf die sich die Schlüsse von Hanstein vorzüglich stützen, nahe verwandt ist. Bei Iberis amara beträgt die Divergenz der Blätter in der Terminalknospe durchschnittlich $138^2/_5{}^0$, was also ziemlich genau $^5/_{13}$ des Umfanges ist. Die Stengel sind gewöhnlich gedreht, und zwar so, dass das 9. oder selbst das 4. Blatt über dem ersten steht. Der Verlauf der Kanten zeigt aber noch ziemlich deutlich die $^5/_{13}$ Stellung der Terminalknospe. In jedes Blatt geht ein gemeinsamer Fibrovasalstrang, welcher durch 10—11 Stengelinternodien hinabsteigt. In dem jungen Stengel sieht man daher 10—11 Stränge in einen Kreis gestellt, an denen man sehr leicht aus ihrer ungleichen Stärke die Ordnung, in welcher sie entstanden sind und in welcher sie in die Blätter eintreten, erkennt. Der durchschnittliche Abstand zweier successiver Stränge beträgt in den verschiedenen Internodien von $139^5/_{12}{}^0$ bis $141^1/_3{}^0$, und das Mittel daraus $140^1/_3{}^0$, was der Divergenz $^7/_{18}$ entsprechen würde. Jeder Strang vereinigt sich, nachdem er durch 10—11 Internodien gegangen ist, ganz ohne Ausnahme mit dem Strang des 5. untern Blattes, also 6 mit 1, 7 mit 2, 8 mit 3, 9 mit 4, 13 mit 8, 21 mit 16 u. s. w. (Taf. III, 5). Wollte man die Stellung der Blätter aus der Vereinigung der Fibrovasalstränge herleiten, so wäre sie $^2/_5$. — Wenn die Divergenzen der successiven Blätter nach dem Bogen gemessen werden, der sich zwischen dem in den Stengel eintretenden Strang eines jeden Blattes und dem heruntersteigenden Strang des nächst folgenden befindet, so erhält man $138-150^0$ und im Mittel vieler Messungen 144^0, was ebenfalls der Stellung $^2/_5$ entspricht.

Aus den eben mitgetheilten Thatsachen ergiebt sich, dass bei Iberis die Blattstellung der Terminalknospe und des entwickelten Stengels mit der Anordnung der Fibrovasalstränge, wir mögen die Letztern in irgend einer Weise zur Vergleichung verwenden, nicht übereinstimmt, was doch bei senkrechtem Verlauf derselben statt haben müsste. Dass aber die Stellung der Stränge auf dem Querschnitt selber nicht in Harmonie ist mit ihren Abständen und Vereinigungen, und dass die Abstände unter einander ungleich sind, rührt daher, dass sie nicht bloss einen spiralig-schiefen, sondern zugleich auch einen krummlinigen Verlauf haben (d. h. die Projection auf die in eine Ebene gelegte Cylinderoberfläche stellt eine krumme Linie dar, während die Spirale geradlinig wird).

Der spiralige Verlauf besteht darin, dass der Strang des 14. Blattes, statt auf den senkrecht unter ihm befindlichen 1. zu treffen, sich nach dem 9. hinbewegt und an denselben ansetzt (Taf. III, 5). Das macht für jeden Fibrovasalstrang eine Abweichung von beinahe 28^0 von der senkrechten Richtung, welche sich auf 10—11 Internodien vertheilt, und für jedes im Mittel beinahe 3^0 beträgt. — Da jeder Fibrovasalstrang sich mit dem 5. untern vereinigt, so stehen also folgende Stränge mit einander in Verbindung: 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 66. Wir können also sagen, dass der Strang des 66. Blattes, welches bei der vorhandenen $^5/_{13}$ Stellung senkrecht über dem ersten sich befindet, mittelbar sich an den Strang dieses Letztern ansetze, und dass die Spirale der Fibrovasalstränge durch 65 Internodien einen Umlauf beschreibe.

Der krummlinige Verlauf der Fibrovasalstränge besteht darin, dass jeder ein lang gezogenes *S* beschreibt (Taf. III, 5). Er bewegt sich nämlich zuerst nach der Linie hin, welche man als senkrechte Verlängerung des 5. untern Stranges nach oben zieht; dann geht er wieder zurück; er durchschneidet ungefähr in der Höhe, wo der genannte 5. untere Strang in sein Blatt ausbiegt, die senkrechte Linie und entfernt sich eine Strecke lang von demselben, um sich zuletzt demselben wieder zuzuwenden und sich mit ihm zu vereinigen. Dieser krummlinige Verlauf ist die Ursache, warum die verschiedenen Messungen an den Fibrovasalstrangen selber ungleiche Resultate geben, wie ich vorhin gezeigt habe, und wie sich namentlich auch aus der Betrachtung jedes Querschnittes ergiebt. Die Winkel zwischen den successiven Strängen haben hier eine ungleiche Grösse, die aber mit Rücksicht auf die Ziffer, mit der die Stränge numerirt sind, ziemlich constant bleibt.

Dieses eine Beispiel ist vollkommen hinreichend, um den Beweis zu liefern, dass die Anordnung der Fibrovasalstränge von derjenigen der Blätter wesentlich abweichen kann. Es wäre nun noch die Frage zu erörtern, ob die Stränge vielleicht Andeutungen für jene noch unbekannte und hypothetische, genetische Blattstellung geben. Ich habe schon bemerkt, dass Untersuchungen und Betrachtungen über die Letztere zur Zeit noch, wie ich glaube, nicht über die blosse Vermuthung hinausgehen können. Besonders aber hege ich die Ueberzeugung, dass mit der Anordnung der Fibrovasalstränge für den genannten Zweck wenig anzufangen ist. Ich gründe diese Behauptung auf den Umstand, dass die Stränge erst zu einer Zeit sich bilden, nachdem die Blattanlagen schon eine ziemliche Grösse erreicht haben, dass daher die Letztern von den ursprünglichen Verhältnissen viel eher Zeugniss geben können als die Erstern, — ferner auf den Umstand, dass die Stränge ohne Ausnahme eine weniger regelmässige Anordnung zeigen als die Blätter der Knospe selber, und dass mit der grössten Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann, dass die genetische Blattstellung eher noch regelmässiger sei als diejenige, die wir später in der Wirklichkeit wahrnehmen.

Wir kommen daher zu dem Schlusse, dass die Anordnung der Fibrovasalstränge bis auf einen gewissen Grad von jeder Blattstellung unabhängig ist, und eigenen Gesetzen folgt, die erst noch zu untersuchen und festzustellen sind. In der Abhandlung von Hanstein suche ich vergeblich nach einem Beweise, warum die Blattstellung aus den Gefässbündeln erkannt werden könne. Derselbe setzt ihren senkrechten und parallelen Verlauf, worauf Alles ankommt, einfach voraus. Er sagt z. B. (Jahrbücher I, Pag. 240): »Haben wir es nun mit einer reinen $^3/_8$ Stellung zu thun, so muss jeder Blattstrang, nachdem er durch 8 Internodien hinabgezogen ist, nun genau auf einen abwärts neuen Strang treffen.« Ich habe gezeigt, dass bei Iberis der Strang immer auf einen solchen trifft, der nicht senkrecht unter ihm befindlich ist; und wie Iberis verhalten sich viele andere Pflanzen. — Hanstein muss nach seiner Voraussetzung natürlich ein grosses Gewicht auf die Zahl der Stränge legen, welche im Stengel neben einander vorkommen. So sagt er (Pag. 258): Taxus habe 13—21 deutlich erkennbare Blattspuren (gemeinsame Stränge) im Stengel, daher schwanke die Blattstellung zwischen $^{5}/_{13}$ und $^{8}/_{21}$; ferner (Pag. 259): Cryptomeria Lobbi habe 10 Gefässbündel im Stamm; die Blätter halten dessnahen die Mitte zwischen der $^{3}/_{8}$ und $^{5}/_{13}$ Stellung. Ich sehe indess keine Möglichkeit für die gegebene Erklärung; oder es hat Hanstein seine Meinung nicht deutlich genug ausgesprochen. Er nimmt bei Anwesenheit von 9—12 Strängen eine zwischen $^{3}/_{8}$ und $^{5}/_{13}$ mittlere Blattstellung an. Darunter kann ich mir nur entweder eine solche denken, bei welcher nicht das 9. oder 14., sondern das 10., 11., 12., 13. über dem ersten steht; das gäbe etwa $^{4}/_{9}$, $^{4}/_{10}$, $^{4}/_{11}$, $^{5}/_{12}$, womit aber die Reihenfolge der Stränge nicht übereinstimmt. Oder es kann darunter eine Stellung gemeint sein, bei der der Abstand grösser ist als $^{3}/_{8}$ und kleiner als $^{5}/_{13}$, also zwischen 135^0 und $138^0 28'$ liegt; das sind nun aber gerade die Divergenzen $^{8}/_{21}$, $^{13}/_{34}$, $^{21}/_{55}$ etc., welche nach der Ansicht Hanstein's ausgeschlossen sind. Die Lösung dieses Widerspruchs liegt in dem schiefen Verlauf der Stränge, welcher für jede bestimmte Blattstellung jede beliebige Zahl nebengeordneter Bündel möglich macht.

Das Verhalten der gemeinsamen Fibrovasalstränge im Stengel zeigt eine grosse Mannigfaltigkeit: nach der Zahl, in welcher sie in ein Blatt eintreten, — nach dem Theil des Stengelumfanges, den die zu einem Blatt gehörigen einnehmen, — nach der gegenseitigen Lagerung in tangentialer und radialer Richtung, — nach der Länge des Weges, den sie im Stengel verlaufen, — und nach der Art, in der sie sich mit einander vereinigen.

Hanstein hat den im Stengel befindlichen Theil der gemeinsamen Stränge, welche zu einem Blatt gehören, mit dem passenden Ausdruck der Blattspur*) bezeichnet. Wir haben nun mit Rücksicht auf die Zahl 1—, 2—, 3—, ... vielsträngige Spuren. Wenn mehr als 1 Strang aus dem Stengel in das Blatt eintritt, so trifft entweder Einer auf die Mitte desselben, oder es liegen 2 symmetrisch rechts und links von der Mitte. Im ersten Falle ist das Blatt unpaarsträngig; es hat einen medianen und seitliche Stränge; die Letzteren kann man, wenn deren mehrere sind, als innere und äussere seitliche unterscheiden. Im zweiten Falle ist das Blatt paarsträngig; wenn jederseits mehrere Stränge sich befinden, so können wir die beiden neben der Medianlinie liegenden als die mittlern, die übrigen als die seitlichen bezeichnen.

---

*) Es ist übrigens zu bemerken, dass die Gefässstränge nur einen Theil der Spur des Blattes am Stengel darstellen. Den andern Theil bilden die oberflächlichen Hervorragungen und Vertiefungen (Furchen, Kanten, Flügel), welche Kützing schon früher (Philos. Bot. II, 130) als Blattspur bezeichnet hat. Wir müssen sonach eine innere und eine äussere Spur unterscheiden.

Die mehrsträngige Spur eines Blattes nimmt einen grössern oder kleinern Theil des Stengelumfanges, zuweilen den ganzen, und wenn die Blattränder über einander greifen, selbst mehr als den ganzen Umfang ein. Wir können darnach die Blätter als weit- und engspurige, und nach dem Bruchtheil der Peripherie ganz genau als 1/10-, 1/8-, 1/4-, 1/2-, 2/3-, 1/1-, 1 1/10 weitspurige benennen.

Der Strang einer Blattspur verläuft entweder in einer senkrechten Tangentialfläche, also parallel zur Oberfläche, oder er liegt in ungleicher Höhe in verschiedenen Tangentialflächen. Im ersten Falle stellt er, auf eine senkrechte Radialebene projicirt, eine gerade Linie dar, und alle Blattspurstränge eines Stengels bilden eine einfache Schicht, und zwar in der Regel eine Cylinderfläche; das findet bei den meisten Dicotyledonen und Cryptogamen statt. Im zweiten Falle tritt der Strang einer Blattspur tief in den Stengel ein, und fällt dann schief nach aussen. Er beschreibt in der Projection auf eine Radialebene eine nach einwärts gebogene Linie. Die Folge davon ist eine Kreuzung der Stränge, indem je diejenigen der obern Blätter nach aussen von denen der untern Blätter zu liegen kommen. Uebrigens giebt es hier wieder 2 Modificationen. Wenn jeder einzelne Strang nur in seinem obern Theil eine gebogene Linie beschreibt und dann in der radialen Projection geradlinig und senkrecht wird, so bilden alle Stränge zusammen eine einfache (Cylinder-) Schicht, innerhalb welcher mehrere freiliegende sich befinden, was bei einigen Dicotyledonen (Nyctagineen, Piperaceen, Phytolacca etc.) statt hat. Ist dagegen der einzelne Strang in seiner ganzen Ausdehnung krummlinig und schief zur Oberfläche, so liegen alle Stränge des Querschnittes zerstreut, was der Fall bei den meisten Monocotyledonen ist.

Ich habe schon früher gesagt, dass die Stränge der Blattspuren kaum je in einer genau senkrechten Radialebene verlaufen. Wenn wir sie auf eine tangentiale Fläche (am besten auf die Oberfläche des Stengels oder des Holzcylinders) projiciren, so beschreiben sie in der Regel mehr oder weniger schiefe Linien, wobei sie theils geradlinig, theils einfach krummlinig oder *S*förmig oder spiralig u. s. w. sind.

Die beiden genannten Projectionen geben uns ein Bild des Gesammtverlaufes eines Blattspurstranges. Um bestimmte Ausdrücke zu haben, will ich mich der Bezeichnungen bedienen: radialsenkrecht und radialschief, wenn die Stränge in radialer Richtung, d. h. in der Projection auf die Radialebene mit der Oberfläche parallel laufen oder nicht, tangentialsenkrecht und tangentialschief, wenn die Stränge in tangentialer Richtung, d. h. in der Projection auf die Oberfläche mit der Stengelachse parallel sind oder mit derselben einen Winkel bilden. Radialschiefe Spurstränge zeigen, wenn sie in ungleichen Radialebenen liegen, radiale Kreuzung, wenn in der gleichen, radiale Vereinigung. An tangentialschiefen Strängen nimmt man in gleicher Weise tangentiale Kreuzung oder Verschmelzung wahr, je nachdem sie verschiedenen Tangentialflächen oder der gleichen angehören.

Die von einem Blatt in den Stengel eintretenden Stränge verlaufen entweder neben einander, ohne dass andere Stränge zwischen sie treten; wir können sie nebenläufig nennen und zwar tangential- oder radial-nebenläufig, je nachdem sie in tangentialer oder radialer Richtung ununterbrochen neben einander liegen. Oder die Stränge einer Blattspur werden durch andere, die zwischen sie eintreten, getrennt; wir können sie verschränktläufig nennen. Die Kreuzung, welche hiemit verbunden ist, findet entweder in radialer oder in tangentialer Richtung statt; sie kann höher oder tiefer eintreten und beginnt bei spiralständigen Blättern in tangentialer Richtung meist unsymmetrisch, so dass z. B. die eine Hälfte der Stränge einer Blattspur noch nebenläufig ist, wenn die andere schon verschränktläufig geworden. Die Stränge gehen im Stengel mehr oder weniger weit nach unten, bis sie mit andern verschmelzen und vereintläufig werden. Vor der Vereinigung sind die Stränge getrenntläufig, und insofern ein Strang überhaupt frei bleibt, können wir ihn als eigenläufig unterscheiden. — Wird jedes Internodium als ein Schritt bezeichnet, so sind die Spurstränge $^1/_2$—, 1—, 2—, 3—, vielschrittig, bis sie verschränktläufig oder vereintläufig werden.

Ich füge noch einige Bemerkungen über die Anwendung dieser Ausdrücke bei; zuerst eine solche über die Bezeichnung der Blätter. Häufig nennt man dasjenige, von dem man ausgeht, das erste, und bei $^3/_8$, $^5/_{13}$, $^8/_{21}$ Stellung kommt das 9., 14., 22. über das erste. Wenn man zugleich das nächstuntere mit — 1 bezeichnet, so liegen bei $^m/_n$ Divergenz die Blätter — n, 1 und n + 1, bei $^8/_{21}$ die Blätter — 21, 1 und 22 senkrecht über einander, und es entsprechen sich weder die Ziffern der aufsteigenden und absteigenden Reihen, noch stimmt bei aufsteigendem Zählen die Ziffer des Blattes mit der Anzahl Schritte, welche die Blattspirale gemacht hat. Wenn man dagegen das Blatt, von dem man ausgeht, mit 0 bezeichnet und Ausgangsblatt heisst, so hat das erste, welches nach oben folgt, die Ziffer 1, das erste nach unten — 1; das n^{te} liegt um n Abstände nach oben, das — n^{te} um ebenso viele nach unten; bei $^8/_{21}$ fällt das 21. obere und das 21. untere mit dem Ausgangsblatt in eine Verticale. Die gleiche Ziffer, wie das Blatt, erhält auch der Stengelknoten, an dem es steht, und das nächstuntere Stengelinternodium, welches zu dem Knoten gehört. Wie mit dem Blatt verhält es sich mit dem Blattquirl. Ich werde mich fortan dieser Bezeichnung bedienen, so dass das 6. obere oder 6. untere Organ (Blatt, Quirl, Knoten, Zwischenknoten) immer dasjenige ist, welches man, von einem bestimmten ausgehend, nach 6 Schritten erreicht, und dass das Internodium unter einem Knoten oder einem Blatt als das ihm angehörige oder eigene betrachtet wird, und umgekehrt.

Die Organe sind in der Mehrzahl der Fälle in eine Schraubenlinie geordnet; ihre beiden Seiten verhalten sich, bezüglich einer Reihe von Erscheinungen, ungleich. Namentlich erfordert auch die Anordnung der Blattspurstränge ihre Unterscheidung. Ich will sie Aufsteig- und Absteigseite oder anodische und kathodische Seite nennen, je nachdem man von ihnen in der nach dem kurzen Weg gelegten Wendeltreppe auf- oder absteigt. Ich weiss zwar wohl, dass die Ansicht der Morphologen dahin neigt, es bewege sich der Bildungstrieb der Blattspirale nach der Divergenz $^3/_5$ und nicht nach $^2/_5$. Allein die Erscheinungen, auf welche sich diese Ansicht stützt, treten lange nach der ersten Anlage auf, und geben sich nicht bloss dadurch, sondern auch durch den fernern Umstand, dass sie nicht bei allen Pflanzen constant sind, als secundäre zu erkennen. Schon die jüngsten, der mikroskopischen Beobachtung zugänglichen Stadien zeigen keine Differenz zwischen rechter und linker Seite; und noch mehr müsste die Unterschiedslosigkeit deutlich sein, wenn wir bis zur ersten Zelle vordringen könnten. Wir wissen überhaupt nicht einmal, ob die Entstehung der Blattspirale die Folge einer in der Wirklichkeit vorhandenen schraubenförmigen Bewegung ist. Wir wissen bloss, dass die in der Stammspitze lebendige Bildungsthätigkeit sich auf eine Anzahl discreter Puncte concentrirt, welche erst unsere Abstraction durch eine Linie vereinigt. Die Consequenz erfordert, dass wir es überall auf die nämliche Art thun, dass, wie wir bei den einen Pflanzen von 1/9, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3 (und nicht von 8/9, 6/7, 5/6, 4/5, 3/4, 2/3) sprechen, wir eben so bei den andern 1/3, 2/5, 3/8, 5/13, 3/7 etc. (und nicht 2/3, 3/5, 5/8, 8/13, 4/7) sagen.

Die Ausdrücke neben-, verschränkt-, eigen-, getrennt- und vereintläufig haben nur eine relative und daher in ungleichen Beziehungen eine verschiedene Bedeutung. Betrachten wir bloss die der nämlichen einzelstehenden Blattspur angehörigen Stränge ohne Rücksicht auf die andern Spuren, so sind dieselben gewöhnlich eine Strecke weit neben- und eigenläufig; sie können höher oder tiefer verschränkt- oder vereintläufig werden. Wenn die Blattspur 1/1 weit ist, so sind sie zuweilen selbst von Anfang an am Rande vereintläufig, indem der linksrandige und der rechtsrandige Strang mit einander verschmelzen, so bei Liriodendron; und wenn die Blattspur mehr als 1/1 weit ist, so treten die randständigen Stränge auch wohl schon als tangential-verschränktläufige in den Stengel ein. Wie das einzelstehende Blatt verhält sich der ganze Quirl (die Paare inbegriffen). Die Spuren seiner Blätter sind ebenfalls meist eine Strecke weit neben- und eigenläufig. Nicht selten sind sie von Anfang an vereint- oder verschränktläufig, indem die Randstränge zweier benachbarter Blätter entweder mit einander verschmelzen oder sich kreuzen.

Betrachten wir die spiralständigen Blätter im Zusammenhange mit einander, so gestalten sich die Verhältnisse ungleich, je nachdem wir die Spur des Ausgangsblattes bloss mit der ersten, oder auch noch mit der zweiten, dritten, vierten oder mit allen der gleichen und der successiven Stengeltheile vergleichen. Bei Berücksichtigung aller Blattspuren giebt es wohl keine eigenläufigen Spuren, sondern sie werden früher oder später, höher oder tiefer vereintläufig. Nur sehr schmale Spuren sind durchaus nebenläufig, indem keine Stränge anderer Blätter zwischen sie eintreten. Gewöhnlich findet Kreuzung statt. Es giebt Blattspuren, deren Aufsteigseite mit der Absteigseite der erstobern Blattspur verschränktläufig ist, während die Absteigseite durch ein Internodium nebenläufig bleibt, um dann mit dem erstuntern Blatt eine gleiche Beziehung einzugehn. Andere werden erst mit dem 2., 3., 5., 8., 13. obern und untern Blatte verschränktläufig. Die Anwendung auf die übrigen Fälle, auf die alternirend-zweizeiligen Blätter, auf die successiven Paare und Quirle, auf die einzelnen Stränge ergiebt sich von selbst.

Ueber den Verlauf der Blattspuren lässt sich nur sehr wenig allgemein Gültiges sagen. Mit Rücksicht auf den tangentialen Verlauf (wie er sich in der Projection auf die Cylinderfläche darstellt) erfahren die Spuren oder die Medianstränge, welche als deren Repräsentanten angesehen werden können, vorzugsweise in den Knoten geringe Abweichungen von der Verticallinie. Diese Abweichungen addiren sich gewöhnlich in den successiven Knoten und veranlassen dadurch einen spiraligen Verlauf, welcher in einem Extrem fast Null ist und bloss durch gewisse Erscheinungen der Entwicklungsgeschichte sich als verschieden von der senkrechten Richtung kundgiebt, im andern Extrem aber schon durch 4—5 Stengelglieder einen vollständigen Umlauf machen kann. Die Abweichungen in den successiven Knoten können aber auch sich aufheben, oder sie können vielleicht selbst ganz mangeln. — Bei schraubenständiger Stellung der Blätter stimmen ihre Spuren oder Medianstränge rücksichtlich der Abweichung von der tangential-senkrechten Richtung mit einander überein; das Nämliche ist der Fall mit den Spuren der homologen Elemente successiver Quirle. Dagegen verhalten sich häufig die verschiedenen Spuren des nämlichen Quirls oder Paars ungleich, so dass die eine links-, die andere rechtswendig ist.

Ist die Spur 1strängig, so wird sie nach unten schmäler. Das Nämliche ist gewöhnlich mit der sehr schmalen mehrsträngigen Spur der Fall. Ihre Stränge sind nebenläufig und vereinigen sich zuletzt mit einander. Diese Spuren verschmälern sich also ebenfalls nach unten. Sie beurkunden ihre Verwandtschaft mit den einsträngigen auch darin, dass in der nämlichen Pflanze zuweilen beide einander vertreten können. — Breitere mehrsträngige Spuren erweitern sich gewöhnlich nach unten, so dass die untere von der senkrecht obern umfasst wird. Die Folge davon ist, dass bei spiraligem Verlauf der Blattspur ihre eine Seite mehr, die andere weniger geneigt ist als der Medianstrang. Die Randstränge der letztern Seite können selbst eine senkrechte Richtung zeigen oder eine antidrome Spirale beschreiben. Wenn die Blattspur den ganzen Stengelumfang einnimmt, so hat das Bestreben derselben, sich zu erweitern, bloss zur Folge, dass die Stränge auf der Seite des Mittelnerven aus einander gehn, diejenigen auf der Randseite sich zusammendrängen und auch wohl kreuzen. Die homologen Stränge der spiralständigen Blätter und der sich entsprechenden Blätter von successiven Paaren oder Quirlen verhalten sich in der Regel gleich.

Mit Rücksicht auf den radialen Verlauf (wie er sich in der Projection auf die Radialebene darstellt) schlagen die Blattspuren der Laubregion bei den meisten Dicotyledonen und Gefässcryptogamen innerhalb der Rinde eine senkrechte Richtung ein. Bei einigen Dicotyledonen beschreiben sie zuerst einen Bogen durch das Mark, um dann fortan unter der Rinde vertical hinabzusteigen. Bei den meisten Monocotyledonen gelangen sie nie oder erst sehr weit unten im Stengel zu einer senkrechten Lage. Was den bogenförmigen Verlauf betrifft, so verhalten sich die Stränge der gleichen Blattspur ungleich. Gewöhnlich sind es die mittlern, welche tiefer in das Mark eindringen; selten wird der Medianstrang von den seitlichen übertroffen. Wenn bei bogenförmigem Verlauf die Stränge in der Blattbasis in mehreren Schichten liegen, so sind es in der Regel die innern, welche sich mehr dem Centrum des Stammes nähern; zuweilen kommt indess auch das Umgekehrte vor.

Die Verschränkungen und Vereinigungen der Blattspurstränge werden durch den Verlauf derselben bedingt. Die Verschränkungen gehen fast ausschliesslich in den Knoten vor sich. Die Vereinigungen finden ebenfalls häufiger in oder dicht an den Knoten statt. Die dicotyledonen Stränge verschmelzen nur tangential, die monocotyledonen in beiden Richtungen und fast noch häufiger in radialer Richtung.

Nach dieser allgemeinen Auseinandersetzung will ich nun zu der Betrachtung der einzelnen Modificationen übergehn, in denen sich der Längsverlauf der Fibrovasalmassen darstellt. Was die Methode betrifft, die dabei in Anwendung kam, so bemerke ich, dass immer die in Entwicklung befindliche Spitze des Stengeltheils (oder der Wurzel) untersucht und von dem Scheitel aus so weit rückwärts verfolgt wurde, bis die Stränge durch ihre Vereinigung oder Verflechtung sich unkenntlich machten. Dabei wurden immer ganze Reihen von successiven Querschnitten (in einzelnen Fällen bis über 100 von der nämlichen Stengelspitze) angefertigt, davon so viele, als nothwendig war (zuweilen 20—40) mit der Camera lucida oder dem Sömmering'schen Spiegelchen gezeichnet, und durch Vergleichung der Verlauf der Stränge ermittelt. Ferner wurden überall, wo nicht die Dicke und Undurchsichtigkeit ein Hinderniss darbot (und das war nur bei wenigen Pflanzen der Fall) senkrechte Durchschnitte gemacht, in der Art, dass das Stengelende halbirt, die beiden Hälften neben einander (die Schnittfläche nach oben gekehrt) gelegt und gezeichnet wurden. Durch Erwärmen in Kalilösung und gelinden Druck gelang es meistens, den Verlauf, die Verschränkungen und Vereinigungen aller oder doch fast aller Stränge zu sehen. Bei gehöriger Sorgfalt stimmen die Resultate beider Verfahrungsarten genau überein.

Nach dem, was ich früher über den Begriff des Epenprosenchyms gesagt habe, fallen die Moose sowie die übrigen Zellencryptogamen weg. Unter den Phanerogamen ist die Gattung Wolffia nach Schleiden die einzige Pflanze, der dieses Gewebe mangelt; dem entsprechend fehlen ihr auch die Wurzeln. Bei den übrigen Gefässpflanzen trifft man (ausser den sogenannten Epidermoidal- oder Bekleidungs-Organen) hin und wieder einzelne Blätter, und selbst Stengeltheile, die bloss aus Zellgewebe bestehen. — Häufiger kommen ganze Pflanzen und Theile von solchen vor, denen nur die Gefässe mangeln, die aber Fibralmassen besitzen. Dahin gehören bekanntlich einige Wassergewächse, bald die ganze Pflanze (von einigen Hydrochārideen und Najadeen, sowie von Ceratophyllum) bald einzelne Organe (namentlich die Wurzeln). Die Fibralmassen treten auch hier in der Form von Cylindern, Ringen oder Strängen auf. Der Längsverlauf zeigt nichts Bemerkenswerthes.

Wurzeln.

Unter den Organen, deren Fibrovasalmassen an der Spitze fortwachsen, ohne in Seitenorgane auszubiegen, sind vor Allem die Wurzeln zu nennen. Hier findet, wie ich bereits bemerkt habe, sehr häufig in der ganzen Länge keine Veränderung statt. Es ist diess dann der Fall, wenn der anfängliche Fibrovasalcylinder nur eine sehr beschränkte Zahl von ursprünglichen Vasalsträngen enthält. Die Veränderungen im Längsverlaufe sind um so häufiger, je complicirter der Bau ist. Die ursprünglichen und die folgenden Vasalstränge, die Cambiformstränge, die Holz-, Bast-, sowie die ganzen Fibrovasalstränge können sich der Zahl nach vermehren oder vermindern, wobei bald eine Vereinigung oder Theilung, bald auch ein allmäliges Aufhören oder Verschwinden beobachtet wird. Doch gehen diese Veränderungen immerhin sehr langsam von statten, so dass oft eine ganze Reihe von Querschnitten bis in das kleinste Detail uns das nämliche Bild giebt.

Psilotum triquetrum Sw. (*I*, 1—3).

Von den Stengelgebilden, welche nur stammeigene Stränge besitzen, habe ich bloss einen Fall und zwar aus der Laubregion näher untersucht. Psilotum triquetrum hat einen centralen Fibrovasalcylinder (Fig. 3, 2), dessen Bildung mit 2 — 8 peripherischen Vasalbündeln beginnt. Die äussersten und ersten Gefässe sind Spiralgefässe; darauf folgen poröse Gefässe, und im Innern besteht die ganze Masse aus Holzzellen. Die ursprünglichen Vasalstränge springen an der Fläche des Fibrovasalcylinders als Kanten mehr oder weniger stark vor. Die Blätter bestehen bloss aus Zellgewebe. Untersucht man das Stengelende (Fig. 1), so sieht man in demselben die noch getrennten ursprünglichen Vasalstränge, welche unbegrenzt fortwachsen und dabei an Zahl und Stellung wechseln. Namentlich findet eine Vermehrung derselben durch Theilung statt. Die Stämmchen verzweigen sich nämlich dichotomisch, wobei ein Theil der Stränge in den einen, der übrige in den andern Ast geht. Diesem Verluste, den die Zahl der Vasalstränge durch die Verzweigung des Stammtheiles erfährt, hält die Theilung derselben das Gleichgewicht. Es kommt auch vor, dass an einer Dichotomie des Stengels ein Vasalstrang sich spaltet und in jeden Ast einen Schenkel schickt (Fig. 1).

Die Blätter, obgleich sie keine Stränge aus dem Stengel erhalten, üben doch auf die Ausbildung des Fibrovasalcylinders einen bestimmten Einfluss aus. In einiger Entfernung (etwa 3 — 8 M. M.) senkrecht unter jedem Blatte, springt eine Kante des Cylinders (oder ein ursprünglicher Vasalstrang) besonders stark vor (Fig. 2, 3) und verliert sich allmälig nach unten, etwas rascher nach oben. Die Kanten des Fibrovasalcylinders sind daher in einem Stengeltheil um so zahlreicher, je zahlreicher die verticalen Reihen der übrigens sehr unregelmässig gestellten und nur schwer auf cyclische Anordnung zurückzuführenden Blätter. Die Oberfläche des Stengels ist ebenfalls kantig, indem von jedem Blatt eine

Kante nach unten geht; die letztere ist oben am stärksten, wird nach unten hin schwächer und verschwindet dann. Da nun die Kanten des Fibrovasalcylinders erst in einiger Entfernung unter den Blättern deutlich sichtbar werden, so ist sein Querprofil oft im Widerspruch mit demjenigen des ganzen Stengels, und wir können sagen, dass der Fibrovasalcylinder rücksichtlich seiner Kanten immer die Form nachahme, welche das ganze Stämmchen 3—8 M. M. höher hat.

Die Sporangien stehen auf sehr kurzen Zweigen, in die ein Fibrovasalstrang eintritt und am Grunde des Sporangiums endigt.

Lycopodium clavatum Lin. und L. Selago Lin.

An Psilotum schliesst sich Lycopodium an, dessen Stengel ebenfalls einen Fibrovasalcylinder mit peripherischen ursprünglichen Vasalsträngen enthält, von denen aus die Bildung in centripetaler Richtung fortgeschritten ist. Die Vasalstränge sind aber gemeinsame, und gehen je einer in ein Blatt aus; so dass die Kanten des Fibrovasalcylinders als Sympodien zu betrachten sind, die gewöhnlich von den Blattspuren zweier, zuweilen auch nur einer, selten dreier verticaler Blattreihen gebildet werden.

Lycopodium hat also 1 strängige Blattspuren. Die Stränge gehen, wenn sie sich von 2 Blattreihen vereinigen, durch 3 Stengelinternodien, bis sie sich an eine untere Spur anlegen; durch 4 Internodien, wenn nur die Spurstränge einer einzigen Reihe zum Sympodium zusammentreten. An keiner Pflanze ist der tangential-schiefe Verlauf der Blattspuren deutlicher, indem sie convergiren um sich zu vereinigen; und an keiner kann die Abweichung der Stranganordnung von der Blattstellung besser nachgewiesen werden. — Das Nähere ist in der Zeitschrift f. wiss. Bot. Heft 3 und 4, namentlich aber in den pflanzenphysiologischen Untersuchungen von Nägeli und Cramer, Heft 3 nachzusehen.

Selaginella hortensis Mett. (I, 8, 9).

Diese Gattung verhält sich ganz ähnlich wie Lycopodium. Bekanntlich sind an dem Stengel 4 Reihen von paarigen Blättern befestigt, 2 Reihen kleinerer Oberblätter und 2 Reihen grösserer Unterblätter, von denen je ein grösseres und ein kleineres ein Paar bilden (Fig. 8). Bei manchen Arten liegen im Gewebe 2 getrennte starke Fibrovasalstränge, von denen Zweige abgehen, um je einer in ein Blatt einzutreten. Jeder der beiden starken Stränge des Stengels versorgt eine Reihe von grossen und eine Reihe von kleinen Blättern, in der Weise, dass er an jedem Knoten einen Zweig abgiebt, alternirend an ein grosses und ein kleines Blatt, und dass somit von den beiden gegenüberstehenden Blättern jedes Paars das kleine von dem einen, das grosse von dem andern Strang seinen Zweig erhält (Fig. 8, 9). — Uebrigens sind die beiden Fibrovasalstränge des Stengels ohne Zweifel Sympodien (entsprechend den Strangsympodien von Lycopodium); die

Blattspuren sind 1strängig und gehen durch ein Glied, bis sie sich mit der nächstuntern vereinigen.

Marsilea quadrifolia Lin. (*I*, 10).

Ein eigenthümliches Verhalten zeigen die Marsileaceen. Die kriechenden Stämmchen von Marsilea tragen auf der obern Seite zwei Reihen alternirender Blätter, die etwas mehr als um $1/4$ der Peripherie von einander entfernt sind. Die Blattspirale ist demnach zickzackförmig, da sie nach jedem Schritt in die gegenläufige Bewegung umsetzt. Seitlich neben jedem Blatt und zwar (mit Rücksicht auf die horizontale Lage der Stammachse) nach unten von demselben befindet sich ein Ast, welcher fast gleichzeitig mit dem Blatt angelegt wird, aber sich langsamer entwickelt. Die Aeste sind demnach ebenfalls alternirend-zweizeilig, und zwar mit einem Abstand von ungefähr 180°. — An jedem Ast ist das erste Blatt mit seinem Zweig dem Stämmchen zu-, das zweite Blatt und sein Zweig abgekehrt. Ein Ast der linken Reihe hat daher sein erstes Blatt rechts, einer der rechten Reihe dagegen links; und die Aeste, welche wie das Stämmchen sich niederlegen, haben ihre Blätter ebenfalls auf der obern Seite.

Fast gleichzeitig mit dem Blatt und dessen Ast wird in gleicher Höhe (Entfernung vom Scheitel) eine Wurzel angelegt. Dieselbe ist von der Insertionsstelle des Blattes etwa um 90° entfernt. Ihr folgt sehr bald eine zweite, näher dem Blatte liegende, darauf zuweilen in gleicher Richtung noch eine dritte und selbst eine vierte, so dass diese Seitenwurzeln eine Querreihe bilden, deren letzte Elemente (nämlich das vierte, zuweilen auch das dritte) deutlich am untersten Theile des Astes stehen. Die ersten Seitenwurzeln aller Knoten stellen auf der untern Seite des kriechenden Stämmchens 2 Zeilen dar, die denen der Blätter auf der oberen Seite genau entsprechen. — Ausser diesen Seitenwurzeln kommen noch Adventivwurzeln vor, meistens 1 — 3 an einem Internodium Sie nehmen in der Regel die Mittellinie der untern Stengelseite ein, und bilden somit eine unpaare Zeile.

Der Querschnitt durch das entwickelte Stämmchen zeigt einen Fibrovasalring, welcher 1 — 2 Schichten von Gefässen enthält und ein kleines aus verlängerten Parenchymzellen bestehendes Mark umschliesst. Nach der Stammspitze hin löst sich der Ring in mehrere (gewöhnlich 5) getrennte Stränge auf (Fig. 10). Zwei derselben, die auf der untern Seite des kriechenden Stengels rechts und links von der Medianlinie liegen, sind stammeigen und wachsen unbegrenzt fort (e, f). An sie setzen sich die Gefässe der Wurzeln an; sie können daher auch die Radicalstränge des Stengels genannt werden. Die übrigen Stränge entsprechen der obern Stengelseite, und gehen in die Blätter aus (a, b, c, d). Mit der Verlängerung des Stämmchens werden hier fortwährend neue Fibrovasalstränge gebildet, welche ebenfalls an ihrem vordern oder obern Ende wachsen. Sie sind so angeordnet, dass der äusserste der einen Seite, z. B. der linken, in das nächste Blatt, der äusserste der rechten Seite in das zweite Blatt, der zweitäusserste der linken in das dritte, der zweitäusserste der rechten Seite in das vierte Blatt eintritt u. s. f. Die neuen Stränge, welche an der Stammspitze sichtbar werden, um höhere Blätter zu versorgen, kommen mitten aus den schon vorhandenen Blattspuren hervor.

Jedes Blatt erhält einen Strang, welcher in der Regel durch 3 Stengelglieder geht, bis er mit untern Spuren sich vereinigt. Desshalb zeigt der Querschnitt der Stammspitze meistens 3, seltener bis 5 Blattspur- oder Foliarstränge, welche einen Bogen von 90 bis 102° einnehmen, während die beiden stammeigenen oder Radicalstränge auf der untern Seite um 48 bis 66° von einander abstehen. — Weiter rückwärts im Stengel verschmelzen alle Foliarstränge in einen einzigen, bald darauf die stammeigenen unter sich ebenfalls, so dass der Querschnitt erst 3, dann 2 breitgezogene Fibrovasalstränge zeigt, einen an der obern, einen an der untern Seite des Stengels. Indem dieselben noch mehr in die Breite wachsen, verschmelzen sie später zu einem Ringe. — Auch bei dieser Pflanze steht die Anordnung der Blattspuren im Widerspruch mit der Stellung der Blätter; diese sind 2zeilig, jene dagegen in der Zahl von 3 — 5 vorhanden, was von ihrem schiefen convergirenden Verlauf herrührt.

Der in das Blatt eintretende Strang ist im jungen Zustande unmittelbar über seiner Eintrittsstelle doppelt, und bleibt in der ganzen Länge des Blattstiels doppelt. Nachher tritt die Vereinigung zu einer im Querschnitt ovalen Fibrovasalmasse ein, in welcher man 2 ursprüngliche, aus Spiralgefässen bestehende Vasalstränge erkennt, an die sich je eine Reihe von porösen Gefässen anschliesst.

Der junge Ast hat zuerst 3 Fibrovasalstränge; einer geht in das erste Blatt, und setzt sich nach unten an die Spur des Tragblattes an. Die beiden andern sind stammeigen; sie verschmelzen mit den beiden stammeigenen des Stengels. Diese Vereinigungen geschehen in dem obersten Theil des Internodiums, so dass der Querschnitt daselbst bis 10 Stränge aufweist.

Die Wurzeln haben einen centralen Fibrovasalcylinder mit einem Vasalstrang. Der letztere setzt sich in der Regel mit 2 Schenkeln an 2 Stränge des Stengels an. Die Adventivwurzeln (die in der Medianlinie der untern Stammseite sich befinden) sind mit den beiden stammeigenen, die Seitenwurzeln dagegen (welche neben jeder Blattbasis eine Querreihe bilden) nur mit dem benachbarten stammeigenen Strang in Verbindung.

Pilularia globulifera Lin.

Pilularia stimmt in den meisten Erscheinungen mit Marsilea überein. Die Stellung der Blätter, Aeste und ersten Seitenwurzeln ist die nämliche. Die beiden Zeilen der letztern sind einander viel mehr genähert, als die beiden Blattzeilen. Auf die erste Seitenwurzel folgt bald eine zweite, zuweilen auch eine dritte, welche schon deutlich aus der Basis des Astes entspringt.

In dem Fibrovasalring stehen die Gefässe meist in einem einfachen Kreis. Dieser Ring theilt sich nach vorn (scheitelwärts) ebenfalls in 2 Stränge, von denen der eine der obern, der andere der untern Stengelseite entspricht. Aber die Theilung bleibt hier stehen. Der untere, stammeigene oder Radicalstrang verschmälert sich scheitelwärts, und endigt meist mit einem einzigen Gefäss. Der obere ist ein Sympodium von Blattspuren; er verschmälert sich zu einem einfachen, in ein Blatt ausbiegenden Gefäss. Da, wo er aus 2 neben einander liegenden Gefässen besteht, sieht man bereits ein neues Gefäss neben seiner Ausbiegungsstelle vorbei im Stämmchen weiter wachsen, welches in das folgende Blatt eintritt. — Pilularia hat daher nur Einen stammeigenen, unbegrenzt fortwachsenden Radicalstrang, und ebenso nur Ein Sympodium von gemeinsamen Strängen (oder einem Foliarstrang), welches scheitelwärts wenig über jenen hinausreicht.

Die Gefässe, welche in die Wurzeln eintreten, legen sich an den Strang der untern Stammseite, die Gefässe des Astes theils an den untern, theils an den obern Strang an. — In dem cylindrischen Blatt befindet sich, wie in dem Blattstiel von Marsilea, ein centraler Fibrovasalstrang mit 2 Vasalmassen.

Hippuris (I, 4, 5). Myriophyllum.

Unter den Phanerogamen machen einige Wasserpflanzen rücksichtlich des Verhaltens des Fibrovasalgewebes eine bemerkenswerthe Ausnahme. Statt eines Markes besitzen dieselben einen stammeigenen, unbegrenzt in die Länge wachsenden Fibrovasalcylinder, und zugleich gemeinsame in die Blätter ausbiegende Stränge, die sich an die äussere Fläche des erstern anlegen. Bei Myriophyllum verticillatum Lin. und Hippuris vulgaris Lin. verhält sich die Sache folgendermaassen.

Der centrale Fibrovasalcylinder verschmälert sich allmälig nach oben und endigt zuletzt in der verlängerten Terminalknospe mit einem einzigen Gefäss (Fig. 4). Erst in ziemlicher Entfernung (5 — 7 Internodien) unterhalb seiner Spitze werden die Anfänge der in die Blätter ausbiegenden Stränge sichtbar. Es sind einige kurze Gefässe an der Biegungsstelle, die oft an den noch bloss aus langen Gefässzellen bestehenden Cylinder sich anzulegen scheinen (Fig. 4). Von hier aus wächst der gemeinsame oder Foliarstrang nach oben durch das Blatt und nach unten dicht an dem stammeigenen Gefässcylinder fort. Der letztere ist in dieser Höhe noch sehr dünn; er wird nach und nach beträchtlich dicker und schiebt die Blattspuren nach aussen.

Die Gefässbildung schreitet in dem stammeigenen Cylinder von dem Centrum aus nach allen Seiten hin fort; sie ist in den Blattspuren ebenfalls centrifugal. Der senkrechte Durchschnitt durch das ausgebildete Stengelinternodium zeigt daher im Centrum Ringgefässe mit weit abstehenden Ringen, dann nach aussen Spiralgefässe, deren Windungen mehr und mehr genähert sind. Zu äusserst folgen wieder Gefässe mit weitern Windungen, zuerst gewöhnlich 1 Ring- und dann noch 1 oder auch 2 Spiralgefässe; sie gehören der Blattspur an, welche sich vor den äussern und nach den innern stammeigenen Gefässen bildete, daher auch die extremen Formen dieser letztern nicht erreicht. Die Blattspuren stehen im obersten Theil des Internodiums etwas von dem Fibrovasalcylinder ab; sie nähern sich abwärts immer mehr, und sind im untern Theil mit demselben verschmolzen. Der Querschnitt des Fibrovasalcylinders zeigt im Innern wenige zerstreute, nach aussen reichlichere, in einen Ring zusammengedrängte Gefässe, und dazwischen dünnwandige Prosenchymzellen (Fig. 5).

In jedes der quirlständigen Blätter geht ein einziger Strang aus. Alle Spuren eines Quirls verlaufen häufig getrennt von einander an der Oberfläche des centralen Cylinders. Nicht selten aber, wenn die Quirle vielzählig sind, wie das bei Hippuris der Fall ist, vereinigen sich die Stränge zweier, selbst dreier Blätter zu einem einzigen, so dass z. B. ein 12zähliger Quirl nur 7 oder 8 Spuren im Stengel hat (Fig. 5). Diese Vereinigungen geschehen ohne Regel, und geben ein neues Beispiel für den Satz, dass Blattstellung und Stammstränge sich nicht immer entsprechen.

Callitriche vernalis Kütz.

Callitriche stimmt in dieser ausnahmsweisen Art des Wachsthums mit Myriophyllum und Hippuris überein, und es möchte diess ein entscheidender Grund für die Ansicht sein, dass sie nach ihrer natürlichen Verwandtschaft neben die Halorageae gehört. Im Centrum des Stengels befindet sich ebenfalls ein Fibrovasalcylinder, welcher aus dünnwandigen Prosenchymzellen und aus wenigen Gefässen besteht, und dessen Spitze deutlich als selbständiger Theil über die Ansatzstellen der Blattstränge sich erhebt. Jedes der opponirten Blätter erhält einen Strang, der sich bloss anzulegen und nicht als besondere Blattspur nach unten fortzusetzen scheint. Dagegen haben die Gefässe des Stengels eine der Blattstellung entsprechende, in den successiven Internodien kreuzweise wechselnde Anordnung.

Equisetum arvense Lin.

Das Fibrovasalsystem von Equisetum hat rücksichtlich seiner Anordnung vollkommene Aehnlichkeit mit demjenigen mancher Phanerogamen; indessen stimmt es doch mit keinem derselben ganz überein. Die in einen Kreis gestellten Stränge des Stengels scheiden Mark und Rinde, und gehen alle in die quirlständigen Blätter aus. Die Blattspuren sind 1strängig und setzen sich am Grunde des Internodiums an die ausbiegenden Stränge des untern Knotens an. Da die successiven Blattquirle bei gleicher Zahl ihrer Elemente mit einander alterniren, so trifft in der Regel eine Blattspur zwischen 2 untere Blattstränge, und theilt sich in 2 Schenkel, um sich an beide anzulegen, wodurch in jedem Knoten ein Netz von zickzackförmigen Anastomosen gebildet wird. — Aus den Quirlzweigen treten je 2 Stränge in den Stengel ein, welche sogleich im Knoten sich rechts und links an die daselbst ausbiegenden Blattspurstränge anlegen.

Die Coniferen, welche sich von den Dicotyledonen dadurch unterscheiden, dass, ausser den Blattspuren, im Stamme sonst keine Gefässe vorkommen, stimmen mit denselben ziemlich in der Anordnung dieser Blattspuren überein. Gleichwohl will ich sie zur bessern Uebersicht gesondert betrachten.

Die quirlständigen, seltener gegenständigen Cotyledonen haben in der Regel 1strängige Spuren im Cauliculus, welche sich in dessen Grunde vereinigen. Wenn die Quirle vielzählig sind, so verschmelzen häufig 2 oder auch 3 Spuren bald nach ihrem Eintritt in das Stengelglied in einen einzigen Strang. Es kommt jedoch, wie es scheint, auch vor, dass der Mittelnerv der Cotyledonen sich am Grunde in 2 Schenkel spaltet, und dass je die ungleichnamigen Schenkel zweier benachbarter Blätter zu einem Strang des Cauliculus sich vereinigen; wenigstens sprechen hiefür die Beobachtungen von Lestiboudois an Cupressus pyramidalis und Abies balsamea (Ann. d. sc. nat. 1848).

Die Blattstränge der Coniferen steigen in den Stammtheilen radial-senkrecht nach unten; sie liegen mehr oder weniger genau in einem Kreis, und legen sich seitlich an tiefere Blattspuren an. Ihre Verdickungsschichten verbreitern sich nach aussen, und vereinigen sich bald zu einem von Markstrahlen unterbrochenen Holzring.

1. Blätter schraubenständig. Blattspur 1strängig.

Pinus sylcestris Lin.

Die schuppenförmigen Blätter bilden eine Spirale, deren Divergenz in der Terminalknospe wahrscheinlich $^{13}/_{34}$ oder $^{21}/_{55}$ beträgt. Denn weder das 5., noch das 13., noch auch das 21. Blatt steht genau senkrecht über dem Ausgangsblatt. In jedes geht ein Fibrovasalstrang, welcher im Stamme durch 14 bis 26 Internodien heruntersteigt, ehe er sich an den Strang eines tiefern Blattes anlegt. Diese Vereinigungen geschehen nicht ganz regelmässig, was auf einen etwas tangentialschiefen Verlauf hinweist. Man unterscheidet auf dem Querschnitt gegen 20 und mehr Blattspuren.

Die schuppenförmigen Blätter an der Basis eines Jahrestriebes haben keine Axillargebilde; die folgenden erzeugen die kurzen Nadelzweiglein; die obersten 2 bis 3 bilden Aeste, die dem Tragspross gleich sind. Die Nadelzweiglein haben 9—11 schuppenförmige und an der Spitze 2 nadelförmige Blätter, welche die gleiche Stellung (jedoch mit entgegengesetzter Wendung) zeigen, wie am Hauptspross. Jedes derselben erhält ebenfalls einen Strang; die Spuren liegen im Zweiglein alle neben einander. 2 Stränge treten aus demselben in den Ast ein, setzen sich daselbst aber nicht an die Spur des Tragblattes an, sondern divergiren und vereinigen sich mit Spuren höherer Blätter.

Abies pectinata DC.

Die schuppenförmigen Blätter am Grunde jedes Jahrestriebes und die Nadeln, welche darauf folgen, stehen in einer Schraubenlinie, welche in der Terminalknospe $^{13}/_{34}$ oder ein noch höheres Stellungsverhältniss zeigt. Die Blattspuren sind 1strängig und steigen durch 16—25 Stengelglieder hinab, ehe sie sich an untere ansetzen. Die Vereinigungen sind auch hier unregelmässig, so dass man auf dem Querschnitt, welcher bis auf 20 Blattspuren aufweist, immer die Stränge einzelner höherer Blätter (z. B. des 22., 21.) noch getrennt findet, während diejenigen tieferer Blätter (z. B. des 17., 19.) schon mit einander verschmolzen sind.

Bei Taxus baccata ist nach der Darstellung von Hanstein (Jahrbücher für wiss. Bot. I, 249) die Anordnung der Blattspuren regelmässig und entspricht derjenigen der Blätter. Ich muss gestehen, dass mir die daselbst gegebene Bezeichnung der Stränge etwas willkürlich erscheint, und dass ich überhaupt so weit vorgerückte Zustände für weniger geeignet zur Beobachtung halte. Meine Untersuchungen an Pinus und Abies wurden, wie die übrigen, unmittelbar unter der Terminalknospe angestellt, und stützen sich auf Reihen successiver Querschnitte. — Das Nämliche gilt von den Bemerkungen Hanstein's über Podocarpus chinensis, Cryptomeria Lobbi und andere Coniferen.

2. Blätter schraubenständig. Blattspur 2strängig, nach unten 1strängig.

Salisburia adiantifolia Sm. (*I*, 6, 7).

Das Stellungsverhältniss in der Terminalknospe (Fig. 7) ist complizirter als $^{3}/_{8}$, vielleicht $^{5}/_{13}$. Die beiden Stränge eines Blattes verlaufen im Stamme neben einander liegend mehr oder weniger weit nach unten, indem sie sich immer mehr nähern und zuletzt in Einen verschmelzen. Der Querschnitt durch den Endtheil eines Sprosses (Fig. 6) zeigt daher einen Kreis von Blattspuren, deren Grösse in spiraliger Folge abnimmt. Die grössten (die den untersten Blättern angehören) sind je doppelt vorhanden und liegen am weitesten aus einander (a); mit abnehmender Grösse rücken die beiden Stränge eines Paars näher zusammen (b, c); die kleinsten Spuren (für die obersten Blätter) sind einfach (d, e, f). Die nämliche Anordnung beobachtet man auch an den Querschnitten durch ältere Triebe, die einen geschlossenen Holzcylinder haben. Derselbe zeigt an seiner innern Oberfläche einspringende Winkel; in den tiefsten und weitesten derselben liegen die Spurpaare für die untersten Blätter. — Die 2 ins Blatt eintretenden Stränge theilen sich sogleich dichotomisch, welche Theilung sich mehrfach wiederholt.

3. Blätter opponirt oder quirlständig. Blattspur 1 strängig.

Thuja occidentalis Lin. und Biota orientalis Endl.

Die Blätter sind opponirt; die Blattpaare alterniren auch in der Terminalknospe rechtwinklig. Die beblätterten Zweige sind etwas zusammengedrückt. Die an den Seiten befindlichen flachen Blätter sind steril. Von den die Kanten bildenden kahnförmigen Blättern trägt je das 1., 2., 3. oder 4. folgende Paar alternirend rechts und links je einen Ast, selten 2 opponirte Aeste.

Der Fibrovasalstrang, den jedes Blatt erhält, geht durch 2 Internodien nach unten. Am zweit untern Knoten, wo die beiden Spuren eines Blattpaars auf diejenigen des dortigen Paars treffen, biegen sie aus und zwar gewöhnlich beide nach rechts oder beide nach links, und können noch durch 1 oder 2 Internodien verfolgt werden. Das Ausbiegen der Blattspuren findet an dem nämlichen Spross immer nach der nämlichen Richtung (rechts oder links) statt; seltener ist dasselbe (statt gleichwendig) symmetrisch-convergirend. Später bildet der ausbiegende Strang einen zweiten Schenkel auf der andern Seite, der ebenfalls nach unten geht. — Aus dem jungen Ast treten zwei Stränge in den Tragspross ein.

Diess sind die Erscheinungen in der Stammspitze. Die Querschnitte durch die Internodien zeigen bis auf 12 Stränge. Die Art, wie die Vereinigungen stattfinden, ist mir unbekannt.

Juniperus communis Lin. (*II*, 3—5).

Die Blätter stehen in dreizähligen Quirlen, welche auch in der Terminalknospe genau mit einander alterniren. Die 1 strängigen Spuren eines Quirls steigen ungetheilt durch sein Stamminternodium nach unten, und spalten sich in der obern Hälfte des folgenden in zwei Schenkel, welche noch in dem nämlichen Internodium rechts und links an die 3 diesem letztern (d. h. dem 1. Quirl) angehörigen Stränge sich anlegen (Fig. 5). Der höchste Querschnitt durch den mit Blattspuren begabten Theil eines Sprosses zeigt daher 3 Stränge. Jeder folgende kann 6 oder 9 enthalten, nämlich 6 oben (Fig. 4), 9 unten im Internodium (Fig. 3).

Cupressus pendula Thunb.

Die Blätter sind opponirt (selten gedreit), die Paare auch in der Anlage rechtwinklig-alternirend. Die Spur jedes Blattes geht verschieden weit (durch 1—3 Internodien) nach unten, ungetheilt oder häufiger sich in 2 Schenkel spaltend. Die Vereinigungen sind unregelmässig. Am häufigsten scheinen sie so zu geschehen, dass die Blattspuren oder deren Schenkel sich in 4 sympodiale Stränge vereinigen, die mit den 4 Blattzeilen alterniren; eine Anordnung, welche ganz an Lycopodium erinnert.

4. Blätter gegenständig. Blattspur 2strängig.

Ephedra vulgaris Rich. (*II*, 1, 2).

Die opponirten Blätter sind in eine Scheide verwachsen; die Paare alterniren schon in der Anlage rechtwinklig. In jedes Blatt treten 2 Stränge ein, welche in demselben ohne Verzweigung parallel laufen. Im Stamme gehen dieselben durch 2 Internodien nach unten, um sich im zweituntern Knoten an die Stränge desselben anzulegen (Fig. 1). Der Querschnitt durch das oberste gefässführende Stengelglied zeigt daher 4 Blattspurstränge; alle folgenden Internodien haben deren je 8, wovon immer 2 gegenüberliegende Paare dem gleichen Blattpaare angehören (Fig. 2).

In dem Knoten bildet sich frühzeitig ein Vasalring, indem zwischen den Strängen kurze Gefässe auftreten und dieselben zu einem geschlossenen Gürtel vereinigen (Fig. 1, i, k, l). In den Internodien dagegen bleiben die Blattspurstränge immer getrennt; zwischen ihnen bilden sich nur Holzzellen. Die Markscheide ist an den Knoten (wo sich der Gefässgürtel befindet) etwas zusammengezogen.

Die Blätter der Dicotyledonen erhalten 1 bis zahlreiche Fibrovasalstränge aus dem Stengel. Ihre Spuren sind in der Regel unpaarsträngig (mit einem Medianstrang). Davon giebt es nur wenige Ausnahmen, unter die namentlich die Labiaten und ferner, wie auch schon von Lestiboudois hervorgehoben wurde, die Cotyledonen sehr vieler Gewächse gehören, deren übrige Blätter einen Medianstrang in ihrer Spur besitzen. In die meisten Cotyledonen treten 2 Stränge ein, welche sich gewöhnlich schon am Grunde zu dem Mittelnerv derselben vereinigen, so bei Plantago, Urtica, Mercurialis, Antirrhinum, Impatiens, Tropaeolum, Vitis, Lupinus, Lathyrus etc.

Bei Phaseolus dagegen sind diese beiden Stränge bald getrennt, bald in eine Masse verschmolzen; und bei manchen Pflanzen haben die Cotyledonen nur eine 1strängige Blattspur im Stengelchen, z. B. Papaver orientale Lin., Lepidium sativum Lin., Helianthemum ledifolium Pers., Spergula arvensis Lin., Agrostemma Githago Lin., Gypsophila elegans Bbrst., Portulaca oleracea Lin. Es ist möglich, dass bei einigen dieser Pflanzen der scheinbar einfache Strang in den allerfrühsten Zuständen doppelt ist. — Bei Cucumis sativus Lin. und C. Melo Lin.

gehen 4 Stränge in jeden Samenlappen über, von denen sich die beiden mittleren zum Mediannerv vereinigen; etwas Aehnliches findet bei Convolvulus tricolor Lin. statt. — Die Cotyledonen von Mirabilis Jalapa Lin. haben jeder 5 Spurstränge. Der mittelste derselben ist sehr zart; etwas stärker sind die äussern seitlichen, am stärksten die innern seitlichen. Die letztern vereinigen sich mit dem zarten Medianstrang zum Mittelnerv. — Bei Ricinus communis Lin. sind die Spuren der Cotyledonen bald 4-, bald auch 5strängig, indem zwischen den mittlern Strängen zuweilen wie bei Mirabilis ein schwacher Medianstrang auftritt.

Die 1strängigen Blattspuren der Cotyledonen gehen, ohne sich zu theilen, bis zum Grund des Cauliculus, wo sie mit einander verschmelzen. Die doppelsträngigen verhalten sich ungleich. Entweder nähern sich die beiden Stränge einer Spur allmälig und vereinigen sich früher oder später zu einem einzigen; der Querschnitt zeigt dann 2 Stränge, die in ihrer Stellung den beiden Cotyledonen entsprechen. Oder es verschmelzen, gewöhnlich unmittelbar unter dem Eintritt in das Stengelchen, die ungleichnamigen Stränge der beiden Spuren (d. h. der rechte der einen mit dem linken der andern Spur); auf dem Querschnitt des Stengelchens sieht man 2 Stränge, die mit den Cotyledonen alterniren. Beispiele für das erstere Verhalten (mit engern und unter einander getrennt-läufigen Spuren) geben Lupinus luteus Lin., Lathyrus Aphaca Lin., Urtica Dodartii Lin. Das zweite Verhalten (mit weiteren, am Rande vereintläufigen Spuren) ist häufiger; man findet es bei Antirrhinum majus Lin. (XIII, 1), Tropaeolum majus Lin., Impatiens Balsamina Lin., Vitis vinifera Lin.

Ein Keimpflänzchen von Antirrhinum majus mit 3 Cotyledonen zeigte folgende Anordnung. Die 2strängigen Spuren vereinigten sich auch hier mit ihren ungleichnamigen Schenkeln, so dass der Querschnitt 3 mit den Cotyledonen alternirende Stränge zeigte. Tiefer im Stengelchen verschmolzen noch 2 derselben in eine Masse. Wenn man die beiden Stränge, welche in die 3 Samenlappen A, B und C eintreten, mit Al (links) und Ar (rechts), Bl und Br, Cl und Cr bezeichnet, so bestanden die Mittelnerven derselben aus Al + Ar, aus Bl + Br und aus Cl + Cr; die 3 Stränge im Cauliculus aus Al + Cr, aus Cl + Br und aus Bl + Ar, und die 2 ungleich grossen Stränge in seiner Basis aus Al + Cr + Cl + Br und aus Bl + Ar (XIII, 3; a, b und c vereinigen sich zu s und r).

Die 4strängigen Spuren der Cotyledonen von Cucumis sind am Rande vereintläufig, indem die ungleichnamigen seitlichen Stränge mit einander verschmelzen. Der Querschnitt des Stengelchens zeigt daher 6 Stränge, 4 eigenläufige und 2 vereintläufige. Die beiden letzteren trennen sich gegen die Basis wieder in 2 Schenkel und vereinigen sich mit den 4 ersteren. — Die 8, 9 oder 10 Stränge, welche in die Cotyledonen eintreten, vereinigen sich bei Ricinus in 4, bei Mirabilis in 2.

Bei den meisten Dicotyledonen haben die Stränge der Blattspuren einen radialsenkrechten Verlauf. Sie ordnen sich daher in einen einfachen Kreis, und haben bloss in tangentialer Richtung Beziehungen zu einander; in dieser Richtung finden Kreuzungen und Verschmelzungen statt. Das System aller Blattspuren zusammen zeigt uns ein einschichtiges Netz, welches das Mark umgiebt und von der Rinde umschlossen wird.

Die Fibrovasalbildung bleibt zuweilen bei diesem Blattspurnetze stehen, das jedoch noch durch nachträgliche Verbindungsstränge vervollständigt werden kann. Häufig vereinigen sich die Stränge des Netzes, indem sie nach aussen in die Dicke wachsen, und sich dabei in die Breite ausdehnen, in einen mehr oder weniger genau geschlossenen Fibrovasalring. Zuweilen auch treten ausserhalb des Blattspurnetzes neue Stränge auf, sei es, dass bei unbegrenzt fortdauerndem Cambiumring der grössere Theil des Xylems sich in Parenchym verwandelt und die Gefässe sammt den dieselben zunächst umgebenden Prosenchymzellen strangartig isolirt, sei es, dass in dem Meristemring periodisch neue Cambiumstränge auftreten. Diese äussern Fibrovasalstränge sind ebenfalls namentlich in tangentialer Richtung netzförmig verbunden; sie stehen übrigens mit den Blattspuren in keiner genetischen Beziehung, indem sie nicht etwa deren Verlängerungen nach unten sind.

1. Blätter schraubenständig. Blattspur 1strängig.

Die Blattstränge steigen durch zahlreiche Internodien nach unten, und vereinigen sich gewöhnlich mit denen bestimmter unterer Blätter, so dass der Querschnitt die Spuren in gewisser spiraliger Folge zeigt, die mit der Blattspirale zwar nicht identisch, aber doch verwandt ist.

Iberis amara Lin. (*III*, 1—5).

Laubsprosse. Ich habe schon oben (Pag. 44) von dieser Pflanze gesprochen und verweise hier darauf. Die Blattstellung in der Terminalknospe ist $^{5}/_{13}$ (Fig. 1). Jeder Strang geht durch 10 oder 11, seltener 12 Internodien nach unten und legt sich daselbst an denjenigen des 5. untern Blattes an. Dabei beschreibt er die Form eines langgezogenen *S*, indem er zuerst nach der Aufsteigseite, dann nach der Absteigseite von der verticalen Richtung abweicht. Die Stränge sind also durch 5, 6 oder 7 Internodien eigenläufig. Durch ihre Vereinigungen entstehen 5 den ganzen Spross durchziehende sympodiale Stränge (Fig. 5), welche durch 65 Internodien einen Umlauf vollenden und an denen die eigenläufigen Stränge als einseitige Abzweigungen erscheinen. Der schiefe Verlauf der Blattspuren ist mit der Blattspirale antidrom; d. h. wenn die letztere rechtswendig ist, so steigen die Stränge nach links empor.

Zwischen den Blattspuren treten später schiefe Verbindungsstränge ohne regelmässige Anordnung auf. Ich finde die ersten Andeutungen derselben in dem 14. bis 18. gefässführenden Internodium unter dem Scheitel (Fig. 2 und 3, a, a). Der in das Blatt ausgehende Strang giebt im Grunde desselben sogleich rechts und links einen schwachen Seitenast ab. — Die beiden Stränge, welche aus der Axillarknospe, deren erste Blätter rechts und links liegen, in den Tragspross eintreten, legen sich sogleich an die nächsten Stränge an.

Arabis albida gehört nach der Beschreibung und Zeichnung Hanstein's (Jahrbücher für wiss. Bot. I, 235) jedenfalls hieher; es lässt sich daraus aber nicht entnehmen, wie weit sie mit Iberis übereinstimme oder nicht.

Jasminum fruticans Lin.

Laubzweige. Die Internodien des ausgebildeten Zweiges sind 5kantig. Nach dem Verlaufe der Kanten, von denen je 2 von einer Blattbasis nach unten steigen, zu urtheilen, ist die Blattstellung $^2/_5$. Die Blattstränge gehen aber durch mehr als 5, selbst mehr als 8 und 13 Stengelinternodien, ehe sie sich an eine tiefere Spur anlegen. Wenn man, von oben anfangend, Querschnitte durch das Sprossende macht, so nimmt die Zahl der Stränge bis auf 10, 12 und 15 zu, an deren ungleicher Grösse man mehr oder weniger deutlich die spiralige Folge erkennt. Weiter abwärts wird die Unterscheidung der Blattspuren unsicher; es bildet sich nach und nach ein ununterbrochener Fibrovasalring. Von der Vereinigung der Stränge weiss ich nur so viel, dass sie nach einem ungleich langen Verlaufe erfolgt. — Wenn die Stengelkanten als senkrecht und die Blattstellung zu $^2/_5$ angenommen wird, so ist die schiefe Richtung der Blattspuren mit der Blattspirale homodrom, indem eine Spur bei der 5. untern anlangend nach der Absteigseite derselben ausbiegt.

Sarothamnus scoparius Koch (II, 6—8).

Die ausgebildeten Laubzweige sind 5kantig; der Verlauf der Kanten und die Blattstellung verhalten sich wie bei Jasminum fruticans. Auch in der Terminalknospe ist die Divergenz ziemlich genau $^2/_5$ (Fig. 6). Die Zahl der Blattspuren beträgt 14 bis 20, mit ziemlich deutlicher spiraliger Anordnung (Fig. 7, 8). Dann fangen einzelne an, seitlich unter einander zu verschmelzen, bis sie sich vollständig zu einem Fibrovasalring schliessen. Der Verlauf und die Vereinigung der Stränge stimmt mit Jasminum überein.

2. Blätter schraubenständig. Blattspur mehrsträngig, höchstens mit der 5. verschränktläufig.

Mehrere (3 oder 5) Stränge gehen von einem Blatte durch den Stengel, und vereinigen sich früher oder später mit einander. Sie sind mit der 5. oder einer noch fernern Blattspur verschränktläufig.

Lepidium sativum Lin. (*II*, 9).

An Keimpflänzchen folgen auf die beiden Cotyledonen 2 Primordialblätter, die in gleicher Höhe und fast opponirt stehen, und mit jenen ein Kreuz bilden. Dann schliessen sich die übrigen Blätter in spiraliger Ordnung an. — Die Cotyledonen und die Primordialblätter haben 1 strängige Blattspuren. Wenige der nächsten Blätter erhalten 3 Stränge, welche sich sogleich nach ihrem Eintritt in den Stengel vereinigen, einen starken Medianstrang, der den Mittelnerv bildet, und 2 schwache seitliche.

Bei allen folgenden Blättern ist dieser Medianstrang in 3 getheilt. Die Uebergangsstelle zwischen Stengel und Blatt zeigt 5 Stränge, von denen der mediane zuerst, die beiden randständigen zuletzt entstanden sind. Die 3 mittlern sind etwas stärker und vereinigen sich nach oben zum Mittelnerv des Blattes. Nach unten treten sie aus einander, und es vereinigen sich die beiden schwächern Randnerven bald mit ihnen, so dass die Blattspur nun 3 strängig durch den Stengel hinabsteigt (Fig. 9, b, c, d). Zuweilen verschmilzt nur der eine Randstrang, und zuweilen sind beide getrenntläufig; im erstern Fall ist die Spur unsymmetrisch-4 strängig, im zweiten 5 strängig. — Diese 3, 4 oder 5 Stränge verlaufen selten unverändert durch den Stengel; durch stellenweise Spaltungen (Fig. 9, a) und Verschmelzungen, sowie durch Einschiebung von schiefen Verbindungsbündeln wechselt das Aussehen der Blattspur, doch innerhalb gewisser Grenzen, so dass sie 3, 4 oder 5 strängig bleibt und ungefähr ihre Weite ($^1/_5$ oder $^1/_6$ des Umfanges) behält, bis sie zuletzt 2 und 1 strängig wird.

Man kann die Blattspur durch 6 — 8 Stengelinternodien verfolgen; Querschnitte unter der Terminalknospe zeigen diese Anzahl (6 — 8) von Spuren in deutlicher spiraliger Folge (Fig. 9). Weiter abwärts erkennt man aber nicht mehr sicher, wie viel jedem einzelnen Blatt angehört. Kreuzung und Vereinigung mit untern Blattspuren scheinen wenigstens innerhalb der ersten 5 Internodien nicht vorzukommen.

Impatiens Balsamina Lin.

Die Keimpflänzchen haben über den beiden Cotyledonen 2 gegenüberstehende Primordialblätter, dann noch ein Paar von fast opponirten Blättern, worauf die Spiralstellung eintritt. Die Spur der Cotyledonen ist 2 strängig, die der übrigen Blätter 3 strängig. Die 3 Stränge, von denen sich der mittlere zuerst bildet, scheinen mit Rücksicht auf Kreuzung und Vereinigung sich ähnlich zu verhalten wie bei Lepidium sativum.

Scopolina atropoides Schult. (*III*, 6, 7).

Diese Pflanze scheint ebenfalls hieher zu gehören. Der aus dem unterirdischen Stock entspringende Stengel trägt alternirende Blätter und endigt in eine

Blüthe. Unterhalb des Blüthenstieles, wo gewöhnlich 3 Blätter in gleicher Höhe stehen, theilt er sich in 2 Aeste. Dieselben tragen an ihren Knoten einseitig je 2 Blätter, und dazwischen einen Blüthenstiel. Sie sind Sympodien von 2blättrigen, in eine Blüthe ausgehenden Sprossen. Von den beiden Blättern ist das eine etwas stärkere das Tragblatt des Sprosses und mit demselben in der ganzen Länge des Internodiums verwachsen, das andere etwas kleinere ist sein erstes oder sein Vorblatt.

Die Richtigkeit dieser morphologischen Betrachtungsweise wird durch die Entwicklungsgeschichte bestätigt. Das bewaffnete Auge erkennt in der Terminalknospe die oberste, noch in der Anlage begriffene Blüthe deutlich als das Ende eines kurzen Sprosses, an welchem 2 gleich grosse Blätter stehen, das eine etwas tiefer inserirte ohne, das andere mit einer Axillarknospe, welche etwas an die Basis ihres Tragblattes angewachsen ist. Mit der weiteren Entwicklung rückt die scheinbare Basis des obern Blattes an dem in seiner Achsel befindlichen und sich verlängernden Spross in die Höhe. Der letztere bildet wieder 2 Blätter, von denen das eine zweiglose neben dem Tragblatte stehen bleibt, das andere zweigtragende in gleicher Weise in die Höhe gehoben wird.

Die successiven Sprosse des Sympodiums sind antidrom; daher stehen die gleichnamigen Blätter an den gerad bezifferten Sprossen einerseits, an den ungeraden anderseits senkrecht über einander. Der Abstand der beiden Blätter des gleichen Sprosses beträgt in der Terminalknospe etwa 165°. Sie sind also fast opponirt; daher rührt die anfänglich scheinbar axilläre Stellung des Blüthenstieles. Der Abstand des ersten Blattes eines Sprosses von dem obern Blatt des nächstvorhergehenden (also zwischen den 2 Blättern, welche nachher zusammen ein Paar bilden) ist ursprünglich ungefähr 100°.

Betrachten wir nun das Sympodium als continuirlichen, mit Blattpaaren besetzten Strahl, und die Sprosse, aus denen er besteht, als Internodien, bezeichnen wir ferner die Blätter mit I, II, III, IV, V, VI, in der Art, dass I und II, III und IV, V und VI je ein Paar darstellen und dass II und III, IV und V je einem Spross angehören, so sind I, III, V Tragblätter, II, IV, VI Vorblätter, V steht median über I und VI über II, und wir haben folgende Anordnung der Blattspuren. In jedes Blatt gehen 3, in den Blüthenstiel 2 Fibrovasalstränge aus, welche zuweilen alle durch 2 volle Internodien des Sympodiums gehen. Der Querschnitt durch ein Internodium zeigt dann 16 Stränge, von denen die 8 an einem Knoten austretenden unmittelbar neben einander liegen. Durch einen Durchmesser lässt sich daher der Querschnitt so halbiren, dass die eine Hälfte der Stränge dem nächsten, die andere dem zweitnächsten Blattpaar sammt Blüthenstiel angehört. Die 3 Stränge jedes Blattes liegen unmittelbar neben einander (Fig. 7, abc, def, kil, mno). Die 2 Stränge eines Blüthenstiels befinden sich rechts und links neben der Blattspur II, IV und VI, und bilden mit derselben gleichsam ein Ganzes von 5 Strängen (Fig. 7, gh, pq).

Die Stränge von Blatt V und VI und des zugehörigen Blüthenstieles (Fig. 7, rst, uvx) legen sich im zweituntern Knoten (bei Blatt I und II) an, und zwar entweder an solche Stränge, welche dort das Sympodium verlassen, oder an solche, die erst im folgenden Knoten abgehen, oder selbst an solche, die dem gleichen Knoten angehören. Die Ansatzstelle befindet sich nicht immer im Knoten selbst, sondern zuweilen etwas über oder unter demselben, so dass der Querschnitt durch den untersten Theil eines Internodiums 14 oder 15, durch den obersten 17 und 18 Stränge zeigen kann. Namentlich sind es die Medianbündel, welche häufig tiefer, die seitlichen, welche eher höher sich ansetzen.

Ich habe bis jetzt den etwas seltenern Fall berücksichtigt, dass alle Stränge durch 2 ganze Internodien gehen, ehe sie sich anlegen. Häufiger geschieht es indess, dass einzelne sich schon weiter oben mit andern vereinigen. Daher zeigt der Querschnitt durch ein Internodium dann bloss 15, 14, 13 oder 12 Stränge (Fig. 6). — Es sind bestimmte Stränge, welche die Neigung zeigen, schon nach einem kürzern Weg mit andern zu verschmelzen, während die übrigen diess nie thun. Die Medianbündel aller Blätter und das seitliche des Tragblattes, welches dem Vorblatte des nämlichen Paars zugekehrt ist, durchziehen immer 2 ganze Internodien. Der dem Vorblatte abgekehrte seitliche Strang des Tragblattes und der dem Tragblatte abgekehrte Strang des Blüthenstiels können schon nach Einem Internodium, der dem Tragblatte zugekehrte Strang des Blüthenstiels und die beiden seitlichen Stränge des Vorblattes können ebenfalls nach Einem Internodium oder schon früher sich ansetzen.

Betrachten wir nun die Art und Weise, wie die Vereinigungen der Blattspuren stattfinden, genauer, so finden wir, dass dabei eine Verschränkung nie statt hat, dass nie ein oberer Strang zwischen die Bündel, die einer untern Spur angehören, eintritt, und dass dabei die beiden rechts und links neben der Spur eines Vorblattes (II, IV, VI) liegenden Stränge des Blüthenstiels sich so verhalten, als ob sie Theile dieser Spur selbst darstellten, und als ob die letztere 5strängig wäre. Die 3 und 5 zusammengehörigen Bündel z. B. von Blatt V und VI spreizen am Grunde des zweiten Internodiums, und fassen die eintretenden Spuren (von Blatt I und II sammt Blüthenstiel) zwischen sich, gewöhnlich so, dass die Medianstränge symmetrisch nach den Spuren III und IV divergiren, und dass die eine Hälfte der seitlichen Stränge nach der andern Richtung hin ausbiegt (Fig. 7). Es kommt auch wohl vor, dass alle 3 oder 5 Stränge nach der nämlichen Seite hin ablenken.

Was endlich die Reihenfolge betrifft, in welcher die Stränge entstehen, so ist sie meistens folgende. Nachdem die Blattspur I, die dem untern Spross angehört, angelegt ist, tritt zuerst der Medianstrang II auf, dann die beiden Stränge für den Blüthenstiel II, darauf der Medianstrang III, später die beiden seitlichen II und endlich die beiden seitlichen III. Damit ist der Spross versorgt, und es schreitet die Ausbildung des folgenden Sprosses zuerst wieder mit dem Medianstrang IV fort. — Die Medianstränge der 2 dem gleichen Spross angehörenden Blätter entstehen oft fast gleichzeitig, während die beiden Blätter an einem Knoten des Sympodiums eine bemerkbare Differenz zeigen. Je zwei gleichwerthige

Stränge (die seitlichen eines Blattes oder die des Blüthenstiels) entstehen meist zu gleicher Zeit; seltener tritt der eine etwas vor dem andern auf.

3. Blätter schraubenständig. Blattspur 5strängig, mit der 3. und 5. verschränktläufig.

Cocculus laurifolius DC. (*IV*, 1, 2).

Laubsprosse Es wurden nur Zweige ohne lebendigthätige Terminalknospe untersucht. Die Divergenz der Blattspirale ist $^3/_8$ oder ein höheres Verhältniss. Die 5 Stränge der Blattspur spalten sich beim Austritt aus dem Stengel mehrfach. Die 2 erstseitlichen geben die eine Hälfte an die Axillarknospe ab; ihre andere Hälfte und die beiden zweitseitlichen bilden zuerst 6 dann 8 Stränge, welche sammt dem Medianstrang in der Basis des Blattstieles in einen Kreis gestellt sind.

Der Medianstrang der Blattspur (Fig. 2, a, a, a) geht durch 5 Internodien nach unten, und biegt so aus, dass er alle 5 Stränge des 5. Blattes seitlich lässt; oder er spaltet sich in 2 Schenkel, von denen einer oder beide zwischen diese 5 Stränge eintreten. — Die beiden lateralen Stränge der Aufsteigseite (Fig. 2, ec, ec, ec) verschmelzen gewöhnlich nach 2 Internodien, zuweilen auch später mit einander; seltener gehen sie getrennt durch alle 5 Internodien. Sie verschränken sich mit den Strängen des 5. Blattes. — Die beiden lateralen Stränge der Absteigseite (Fig. 2, bd, bd, bd) gehen gewöhnlich eigenläufig durch 3 Internodien, und treten zwischen die Stränge des 3. Blattes ein, nachdem häufig zuvor eine Vereinigung zwischen ihnen stattgefunden hat. Zuweilen verschränkt sich nur der zweitseitliche mit der 3. Blattspur, während der erstseitliche nach dem Medianstrang ausbiegt; zuweilen biegen auch beide in gleicher Richtung aus, wobei gewöhnlich eine Verschmelzung derselben eintritt.

Betrachten wir die 5 Stränge einer Blattspur (Fig. 2, abcde) ohne Rücksicht auf diejenigen der höhern Blätter, so sind sie durch 3 Internodien eigen- und nebenläufig, wobei im dritten gewöhnlich die beiden aufsteigend- oder anodisch-seitlichen vereintläufig werden. — Die beiden absteigend- oder kathodisch-seitlichen (bd, — oder auch nur der eine, nämlich d) verschränken sich mit der 3. Blattspur; die übrigen (eca oder ecab) mit der 5., nachdem sie durch das 4. und 5. Internodium bald eigenläufig, bald vereintläufig gegangen sind. — Die beiden lateralen Stränge der Absteigseite (bd) sind meistens 3schrittig, der mediane (a) meist 5schrittig und die beiden lateralen der Aufsteigseite (ce) bald 5-, bald auch nur 3schrittig (d. h. sie gehen durch so viele Internodien, ehe sie sich an untere Blattspuren ansetzen).

Im Uebrigen sind die Vereinigungen der Blattspurstränge verschieden und mannigfaltig. Oft auch spaltet sich 1 Strang nach unten in 2; und noch häufiger kommen schiefe Verbindungsstrenge vor.

Die Stränge der äussern Kreise, welche sich später bilden (Pag. 28), hängen nicht mit den Blattspuren so zusammen, dass sie als deren Fortsetzungen erscheinen würden. Jeder Kreis stellt für sich ein Netz mit langgezogenen Maschen dar, welches mit dem Blattspurnetze und den übrigen Netzen vorzüglich nur in den Knoten durch Anastomosen verbunden ist.

4. Blätter schraubenständig. Blattspur 3strängig, mit der 2. und 3. verschränktläufig.

Menispermum dauricum DC.

Laubtriebe. Die Divergenz der Blätter in der Terminalknospe der windenden Stengel beträgt im Mittel 138½ bis 139½°, was auf eine $^5/_{13}$ Stellung zu deuten scheint. — Von den 3 Spursträngen kann jeder durch 5 bis 8 und mehr Internodien hinabsteigen, ehe er sich an den Strang einer untern Spur ansetzt. Der Medianstrang kann sich im 5. untern Knoten mit dem anodisch-seitlichen des 3. untern Blattes vereinigen. Der kathodische Lateralstrang kann ebenfalls im 5. Knoten mit dem medianen des 3. untern Blattes, und der anodische Lateralstrang im 5. Knoten mit dem medianen des 2. untern Blattes sich vereinigen. Zuweilen schmelzen 2 Stränge der nämlichen Spur zusammen, so z. B. der Medianstrang mit dem anodisch-lateralen im 5. untern Knoten.

Der Querschnitt durch ein Internodium zeigt meist 18 — 19, zuweilen bloss 16 — 17 Stränge; selbst in der Basis des 8 Fuss langen Stengels sind dieselben noch vollkommen getrennt. Diese Zahl beweist, übereinstimmend mit den direkten Beobachtungen, dass die Stränge durchschnittlich durch 6 Glieder hinabgehen, bis sie sich an untere Spurstränge ansetzen.

Die Blattspur umspannt im eigenen Internodium einen Bogen von 75 bis 80°. Oben ist sie enger; nach unten erweitert sie sich allmälig. Sie erreicht in der untern Hälfte des Internodiums ihre grösste Weite. In den folgenden Gliedern verengert sie sich, so dass sie im 2. und 3. untern Internodium z. B. noch 65° weit ist. — Würden die Stränge radial-senkrecht im (ungedrehten) Stengel heruntersteigen, so könnte nur der kathodisch-laterale mit dem anodischen des drittuntern Blattes sich kreuzen; es verschränkt sich aber auch meistens der anodisch-laterale mit dem kathodischen der zweituntern Spur. Diess ist nur durch einen schiefen und zwar mit der Blattspirale antidromen Verlauf der Spurstränge möglich. — Der Medianstrang tritt, wenn diese schiefe Richtung nur gering ist, zwischen den medianen und den kathodisch-lateralen, wenn sie grösser ist, zwischen den medianen und den anodisch-lateralen der 5. untern Spur ein.

Die Divergenz der Medianstränge ist (in Folge des schiefen antidromen Verlaufes) immer grösser als die der Blätter. Sie zeigt aber ungleiche Werthe, je nachdem ihr Verlauf mehr oder weniger von der senkrechten Linie abweicht. In einem Zweig, in welchem der Medianstrang immer auf die Kathodalseite des

5. untern zu liegen kam, und der anodische Lateralstrang mit dem kathodischen des 2. untern Blattes bald sich verschränkte bald auch nicht, betrug der Abstand der Medianstränge im Mittel 140°. In einem andern Zweig, in dem der Medianstrang ziemlich constant auf der Anodalseite des 5. untern sich befand, und die Verschränkung des anodisch-seitlichen mit dem kathodischen der zweituntern Spur nie ausblieb, wurde die mittlere Divergenz der Medianstränge zu 148° gefunden. Die Differenz zwischen Blattstellung und Anordnung der Spurstränge ist im letztern Falle um so deutlicher, weil die Blätter in der Horizontalprojection folgende Ordnung: 0, 8, 3, 6, 1, 9, 4, 7, 2, 5, die Medianstränge aber in gleicher Richtung die folgende zeigen: 0, 5, 3, 8, 1, 6, 4, 9, 2, 7.

Wenn die Spurstränge der obern Blätter in den Knoten auf solche treffen, welche aus dem Blatte in den Stengel eintreten, so biegen sie aus. Häufig bildet sich dann später ein zweiter schwächerer Schenkel, welcher, nach der entgegengesetzten Seite ausweichend, sich an den nächsten Strang ansetzt. In Folge dessen umfasst nun der obere Strang den untern mit 2 ungleich starken Schenkeln.

Ribes rubrum Lin. (*IV*, 3, 4).

Laubtriebe. Die Divergenz der Blätter beträgt in der Terminalknospe im Mittel $136^{8}/_{7}{}^{0}$, und das 8. steht nicht senkrecht über dem Ausgangsblatt. Von den 3 Strängen einer Blattspur bildet sich der mediane etwas früher, so dass man unter dem Scheitel nicht selten 2 Spuren noch ohne Lateralstränge findet.

Die Blattspuren sind bis in das 7. oder 8. der gefässführenden Internodien abwärts vom Scheitel deutlich erkennbar; weiterhin wird die Unterscheidung derselben unsicher oder unmöglich. Bis dahin verhält sich die Anordnung folgendermaassen (Fig. 4). Der Medianstrang (q, n, k), welcher auf den seitlichen der Aufsteigseite vom 3. untern Blatt (i, f, c) trifft, biegt kathodisch aus, und geht neben demselben hinunter. Der anodisch-seitliche (s, p, m) steigt ziemlich gerade durch 7 Internodien herab. Der kathodisch-seitliche (r, o, l) trifft auf den Medianstrang des 3. untern Blattes, und biegt daselbst entweder kathodisch aus (a), oder, was häufiger der Fall ist, er spaltet sich in 2 Schenkel, welche jenen Medianstrang zwischen sich fassen (g, d). Von diesen beiden Schenkeln setzt sich der kathodische an den anodisch-seitlichen Strang des erstuntern Blattes an und zwar im 5. oder 6. Internodium, wenn die ganze Länge der Blattspur gerechnet wird. In dieser Weise zeigt der Querschnitt unter der Zweigspitze bis auf 20 ihrer Abstammung nach sicher erkennbare Blattspurstränge.

Die Weite der Blattspuren beträgt im Mittel 111°. Der Verlauf der Medianstränge ist in Folge ihres gleichseitigen Ausbiegens in geringem Maasse spiralig-schief; und zwar ist der schiefe Verlauf derselben homodrom mit der Blattspirale. Die Divergenz der Medianstränge ist daher etwas geringer als die der Blätter; ich fand sie im Mittel $134^{3}/_{8}$.

Bei Ribes nigrum verhält sich nach der Abbildung von Hanstein (Jahrbücher f. wiss. Bot. I, 264) die Anordnung der Blattspuren ganz ähnlich; nur scheinen dieselben etwas weiter zu sein, weshalb der kathodisch-seitliche Strang nicht genau auf die Medianlinie des 3. untern Blattes trifft und daselbst sich auch nicht gabelig spaltet.

Prunus avium Lin. (IV, 5, 6).

Laubsprosse. Die Divergenz der Blattspirale beträgt in der Terminalknospe durchschnittlich $138^2/_3$°, also fast genau $^5/_{13}$ des Umfanges; am ausgebildeten Zweig scheint sie $^3/_8$ zu sein. Die 3 Stränge einer Blattspur gehen durch 6 bis 7 Internodien, ohne sich an untere anzusetzen. Der Verlauf ist ungleich. Im einen Fall (Fig. 6) tritt der Medianstrang nebst dem kathodisch-seitlichen zwischen den Medianstrang und den anodisch-seitlichen der drittuntern Blattspur ein, und beide bleiben zwischen diesen 2 Strängen im 1. und den folgenden Internodien. Der anodisch-seitliche dagegen verschränkt sich mit dem kathodisch-seitlichen der zweituntern Blattspur, und liegt im 3. und den folgenden Internodien zwischen demselben und dem zugehörigen Medianstrang. — Im 2. Falle verschränken sich die beiden Lateralstränge auf gleiche Weise wie eben angegeben wurde, nämlich der kathodische mit der 3., der anodische mit der 2. Blattspur. Der Medianstrang dagegen geht zwischen diesen beiden Spuren nach unten, und tritt erst im 5. untern Knoten zwischen dessen medianen und anodisch-lateralen Strang ein.

An Zweigen, welche den erstgenannten Verlauf der Stränge zeigten, hatten die Blattspuren im 1. und 2. Internodium eine mittlere Weite von 112°. Die Divergenz der Medianstränge betrug im Durchschnitt 133°, was mit Rücksicht auf den Abstand der Blätter in der Terminalknospe auf einen mit der Blattspirale homodromen, schiefen Verlauf hindeutet. — Man unterscheidet die Blattspurstränge in den Zweigspitzen, bis ihre Zahl auf 17 oder 20 gestiegen ist. Dann vereinigen sie sich zu einem Fibrovasalring. — Von den 3 Strängen einer Spur entsteht zuerst der mittlere (Fig. 6, q). An die beiden seitlichen setzt sich da, wo sie in den Blattstiel ausbiegen, je ein Strang für die Nebenblätter an.

Erythrina cristagalli Lin.

Laubtriebe. In der Terminalknospe steht das 8. Blatt nicht genau senkrecht über dem Ausgangsblatt; die Divergenz könnte wohl $^5/_{13}$ sein. Die Blattspuren scheinen die nämlichen zwei Modificationen in der Anordnung zu zeigen wie Prunus. Die Zahl der Stränge steigt bis über 30, ehe die Vereinigung zu einem Holzring erfolgt.

Lupinus Lehmanni Hort. und L. luteus Lin. (V, 1—4).

An den Keimpflänzchen alternirt mit den beiden Cotyledonen ein Paar von opponirten Primordialblättern oder ersten Laubblättern. Mit diesen abwechselnd, und somit den Samenlappen gegenüber, steht das zweite Paar von Laubblättern, von denen das eine etwas tiefer inserirt ist und sich etwas früher entwickelt als das andere. Die beiden Blätter des 3. Paars befinden sich nicht bloss in ungleicher Höhe, sondern zeigen auch deutlich eine horizontale Abweichung von der opponirten Lage. Das 4. Paar von Laubblättern hält die Mitte zwischen opponirter und spiraliger Anordnung; und die folgenden Blätter sind schraubenständig. Ich will alle Blätter des Keimpflänzchens mit I, II, III etc. bezeichnen, in der Art, dass I und II die Cotyledonen, III und IV die Primordialblätter, V und VI, VII und VIII, IX und X die folgenden Blattpaare sind, dass ferner I bis X eine ununterbrochene Spirale darstellen, und dass somit das ungerad-bezifferte Blatt eines Paars das wirklich oder muthmaasslich untere ist (Fig. 2).

Jeder Samenlappen hat eine 2strängige Blattspur, die am Grunde des Stengelchens 1strängig wird (a, b in Fig. 1 und 3). Zuweilen befindet sich zwischen den beiden stärkern Strängen ein schwächerer (Fig. 2, II). Alle folgenden Blätter erhalten 3 Stränge. Diejenigen der Primordialblätter, III und IV (Fig. 1, c, d; Fig. 3, cde, fgh), sind mit den Spuren der Cotyledonen nebenläufig, so dass der Querschnitt durch das Stengelchen 10 Stränge zeigt, je zu 2 (für I und II) und je zu 3 (für III und IV) kreuzweise gegenüber (Fig. 3 unter a und b). Die Medianstrange des 2. Laubblattpaares V und VI (Fig. 1, e, f; Fig. 3, i, m) gehen durch 2 Internodien nach unten, und mitten über der Spur eines Samenlappens angelangt, biegen sie convergirend aus, das eine links das andere rechts, und setzen sich sogleich an die Lateralstränge der Spur III an (in Fig. 3 an e und d). Wenn wir alle blattartigen Organe in eine ununterbrochene Spirale verbinden, so müssen wir sagen, der Medianstrang von V biege anodisch, derjenige von VI kathodisch aus. Später bildet sich noch ein zweiter, etwas schwächerer Schenkel, der über der Cotyledonarspur nach der entgegengesetzten Seite ausbiegt, und sich an den zugekehrten Lateralstrang von IV anlegt (Fig. 3, v und x). — Die seitlichen Stränge des 2. Laubblattpaares V und VI (Fig. 3, l, k, o, n) steigen durch ein Internodium nach unten, kreuzen sich im nächsten Knoten mit den Lateralsträngen von III und IV, (l mit d, k mit h, o mit g, n mit c), liegen im folgenden Internodium an der innern Seite dieser letztern, und setzen sich im 2. untern (Cotyledonar-)Knoten oder etwas tiefer an dieselben an.

Die Medianbündel des 3. Laubblattpaars VII und VIII (Fig. 3, p, q) gehen durch 2 Internodien, und verschränken sich dann mit den Spuren von III und IV; VII (p) liegt zwischen dem medianen und anodisch-lateralen Bündel von IV (zwischen f und h), VIII (q) zwischen dem medianen und kathodisch-lateralen Bündel von III (zwischen c und d). Sie setzen sich im 3. Internodium an die genannten Lateralbündel an. — Der Medianstrang von IX (Fig. 3, r) kommt an die Aufsteigseite von demjenigen des Blattes VI (m) zu liegen, der Medianstrang von X (Fig. 3, s) ebenfalls anodisch von demjenigen des Blattes V (i).

Ich bemerke hiezu, dass die Anordnung der Medianstränge, im Gegensatz zu der wirklichen Blattstellung, genau diejenige ist, welche einer streng spiraligen Blattfolge entspricht.

Aus den Axillarknospen der Cotyledonen treten je 2 Stränge in den Stengel ein, welche sogleich sich an die seitlichen der nächstobern Spur anlegen (Fig. 3, u über a und ebenso über b).

5. Blätter schraubenständig. Blattspur 3strängig, mit der 1. und 2. verschränktläufig.

Passiflora Vespertilio Lin. (V, 5 – 7).

Laubtriebe. Am ausgebildeten Zweig steigen von jedem Blatt 3 Stengelrippen nach unten. Die mittlere, welche vom Rückennerven des Blattes ausgeht, trifft auf den Anodalrand des 3. untern Blattes; die anodisch-seitliche auf den Kathodalrand des 2. untern Blattes, und die kathodisch-seitliche auf den Anodalrand des nächstuntern Blattes. Wenn man nach diesem Rippenverlaufe die Stellung der Blätter bestimmen wollte, so müsste man einen Abstand derselben von etwa 127° oder $^{5}/_{7}$ des Umfanges annehmen; denn bei dieser Divergenz nähern sich die Rippen am meisten der senkrechten Richtung. — In der Terminalknospe sind jedoch die Abstände viel grösser. Es giebt, wie ich zeigen werde, zwei Modificationen für die Anordnung der Blattspuren, und denselben entsprechen auch zwei Blattstellungen. Im einen Falle sind die Blätter 145° bis 155°, im andern 150° bis 160° von einander entfernt.

Das Blatt hat 2 Nebenblätter. In seiner Achsel steht eine Ranke, rechts und links von derselben ein Blüthenstiel, und innerhalb der Ranke ein accessorischer Zweig. In jedes Blatt gehen 3, in die Ranke 2 Fibrovasalstränge aus; von den beiden Rankensträngen liegt je einer zwischen dem medianen und einem lateralen Blattstrang. — Von der Biegungsstelle eines jeden der seitlichen Blattstränge entspringen 3 Bündel für die Nebenblätter. Etwas höher theilt sich der Medianstrang in 3 Schenkel, von denen die beiden seitlichen mit den lateralen Blattsträngen Anastomosen darstellen.

Die eine Anordnung der Stränge, welcher die grösseren Divergenzen in der Terminalknospe entsprechen, ist folgende (vd. Fig. 6 und 7). Der Medianstrang (l, q, t, x) geht eigenläufig durch 2 Internodien, darauf vereintläufig mit dem kathodischen Rankenstrang der 2. untern Spur (d, i, o) durch ein ferneres Internodium, um sich am 3. Knoten mit dem kathodisch-seitlichen Blattstrang der 2. Spur zu vereinigen (qi mit g, to mit m). Der kathodisch-seitliche Blattstrang (g, m, r, u) geht eigenläufig durch ein Internodium, dann vereintläufig mit dem anodischen Rankenstrang der nächstuntern Spur (e, k, p) durch 2 Internodien, und verschmilzt am 3. Knoten mit dem Medianstrang der erstuntern Spur (rp mit l, u mit q). Der anodisch-seitliche Blattstrang (n, s, v) steigt eigenläufig durch 2 Internodien herab, und setzt sich am 2. Knoten an den kathodisch-seitlichen Blattstrang der nächstuntern Spur an (g, m, r). Der kathodische Rankenstrang (d, i, o) vereinigt sich sogleich mit dem Medianstrang des 2. obern Blattes (l, q, t), um sich mit demselben am nächstuntern Knoten an den kathodisch-seitlichen Blattstrang der eigenen Spur anzulegen (iq an g, ot an m). Der anodische Rankenstrang (e, k, p) verschmilzt sogleich mit dem kathodisch-lateralen Blattstrang der nächstobern Spur (g, m, r), um sich gemeinsam mit demselben nach einem Verlaufe von 2 Internodien an den Medianstrang der eigenen Spur anzusetzen (pr an l).

Wenn der Verlauf der Spurstränge ganz regelmässig ist, wie er eben angegeben wurde, so zeigt der Querschnitt durch jedes Internodium deren 8 (Fig. 5). Zuweilen sind es nur 7, indem der anodisch-seitliche Blattstrang schon im nächstuntern Knoten (statt erst im zweiten) sich mit dem kathodisch-seitlichen Blattstrang der erstuntern Spur vereinigt. Zuweilen sind es auch 9, indem der kathodisch-laterale Blattstrang, statt im nächsten Knoten mit dem anodischen Rankenstrang zu verschmelzen, noch ein Internodium getrennt neben demselben hinabsteigt. Dicht unter dem Knoten sind die Spurstränge zahlreicher, weil die Vereinigungen daselbst noch nicht stattgefunden haben; man unterscheidet deren bis 11 und 12.

Die andere Anordnung der Stränge, welche der kleinern Divergenz in der Blattspirale entspricht, ist folgende. Der Medianstrang geht eigenläufig durch 3 Internodien und vereinigt sich im 3. Knoten mit dem anodisch-seitlichen der nächstuntern und dem kathodisch-seitlichen der 2. Blattspur. Der kathodisch-laterale Blattstrang steigt eigenläufig durch ein Internodium, darauf vereintläufig mit dem anodischen Rankenstrang der nächstuntern Spur durch 2 folgende Internodien, und vereinigt sich dann mit dem kathodischen Rankenstrang der 3. Spur. Der anodisch-laterale Blattstrang geht eigenläufig durch 2 Internodien, und setzt sich dann an den kathodisch-seitlichen Blattstrang der nächstuntern Spur an. Der kathodische Rankenstrang verläuft durch 3 Internodien, und vereinigt sich im 3. untern Knoten mit dem dortigen kathodischen Rankenstrang sowie mit dem kathodisch-lateralen Blattstrang der eigenen Spur. Der anodische Rankenstrang verschmilzt sogleich mit dem kathodisch-lateralen Blattstrang der nächstobern Spur, geht mit demselben durch 2 Internodien, um sich im 2. untern Knoten an den dortigen kathodischen Rankenstrang anzulegen.

Bei regelmässigem Verlauf der Spurstränge sieht man auf dem Querschnitt eines Internodiums deren 11. In jüngern Zuständen sind meist 12 vorhanden, indem der anodische Rankenstrang, statt sogleich mit dem kathodischen Blattstrang der nächstobern Spur zu verschmelzen, durch ein Internodium dicht neben demselben hinzieht. Im Grunde eines Internodiums sind die Stränge weniger zahlreich, indem daselbst die Vereinigungen schon begonnen haben; im obersten Theil des Internodiums dagegen übersteigen sie die gewöhnliche Zahl, indem hier noch nicht alle Vereinigungen zu Stande gekommen sind.

Die beiden geschilderten Anordnungen unterscheiden sich durch den verschiedenen Verlauf der einzelnen Spurstränge und die dadurch bedingte ungleiche Zahl derselben in einem Internodium. Sie sind das Resultat der ungleichen Divergenzen in der Blattspirale. — Mit dem Verlauf der Stränge hängt bis auf einen gewissen Grad auch die Ausbildung der Stengelrippen zusammen. Bei der letzten Anordnung mit 11 Strängen sind 6 starke Stengelkanten vorhanden; bei der ersten mit 8 Strängen ist eine dieser 6 Kanten mehr oder weniger verkümmert.

Mit beiden Anordnungen der Blattspuren ist ein schiefer Verlauf aller Stränge verbunden, und zwar in homodromer Richtung mit der Blattspirale. Daher rührt, dass die Divergenzen zwischen den Mediansträngen bedeutend geringer sind, als diejenigen zwischen den Blättern in der Terminalknospe. Bei der ersten Anordnung beträgt der Abstand der Blätter 150° bis 160°, derjenige der Medianstränge (bis dieselben durch 2½ Internodien gegangen sind) 147°; bei der zweiten Anordnung ist die Divergenz der Blätter 145° bis 155°, diejenige der Medianstränge (auf eine gleiche Länge des Verlaufes) 127°, — Beides nach zahlreichen Messungen.

Die Stränge verlaufen übrigens nicht bloss schief, sondern zugleich auch krummlinig. Die Folge davon ist, dass 2 Medianstränge in ungleichen Höhen verschiedene Abstände zeigen. Der Medianstrang einer Blattspur und derjenige der nächstobern Spur sind bei der ersten Anordnung durch eine mittlere Entfernung von 152°, im nächstuntern Internodium durch eine solche von 142° getrennt; bei der zweiten Anordnung beträgt der durchschnittliche Abstand in einem Internodium 142°, im nächstuntern 113°. — Wie die Medianstränge verhalten sich auch alle übrigen einer Spur. Jeder hat einen eigenthümlich-schiefen und zugleich einen krummlinigen Verlauf.

Die Stengelrippen haben ebenfalls einen schiefen Verlauf, welcher nicht mit demjenigen der ihnen entsprechenden Fibrovasalstränge identisch ist. Daher rührt es z. B., dass der Abstand der Medianstränge nur selten genau die gleiche Grösse hat, wie der Abstand der sie bedeckenden Rippen; der Letztere kann bis auf 8° kleiner und 10° grösser sein als der erstere.

Viola elatior Fries.

Laubsprosse. Von den 3 Strängen einer Blattspur geht der mediane in den Blattstiel, die beiden lateralen in die Nebenblätter. Die ganze Spur ist am Knoten durch Fibrovasalbögen verbunden, von denen schwächere Stränge in die Nebenblätter abgehen. Der Medianstrang verläuft durch 3 Internodien, und trifft am dritten Knoten ziemlich genau auf den anodischen Lateralstrang der dortigen Spur. Er biegt nach der Aufsteigseite aus, und kann noch durch 1 oder 2 Internodien verfolgt werden. An der Ausbiegungsstelle bildet sich nachher ein zweiter Schenkel, welcher auf der andern Seite jenes Stranges hinabsteigt. — Der kathodisch-seitliche Strang verschränkt sich am ersten Knoten mit dem anodisch-seitlichen desselben, trifft am 3. Knoten auf den Medianstrang des letztern, biegt zuerst nach der Aufsteigseite aus und umfasst ihn nachher durch Bildung eines zweiten Schenkels. — Der anodisch-seitliche Strang verschränkt sich am 2. untern Knoten mit dem anodischen Lateralstrang desselben, und kann dann noch durch 2 oder 3 Internodien verfolgt werden. — Aus dem axillären Blüthenstiel treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche neben dem Medianstrang durch 3 Stengelglieder hinabsteigen.

Tropaeolum majus Lin.

An der Keimpflanze bilden die 2 opponirten Primordialblätter mit den beiden Samenlappen ein Kreuz. Die folgenden Blätter sind alternirend; das erste steht beinahe senkrecht über einem Samenlappen, das zweite ist von demselben um einen Bogen von nahezu 170° entfernt. Die folgenden Divergenzen werden kleiner. — Zuweilen ist nur ein einziges Primordialblatt vorhanden. Demselben gegenüber, aber höher inserirt, steht das erste Laubblatt. Das zweite Laubblatt greift etwas über die Verticale des Samenlappens hinaus.

Aus jedem Samenlappen treten 2 Fibrovasalstränge in das Stengelchen ein. Nach unten vereinigen sich die 4 Stränge paarweise in 2, die mit den Cotyledonen alterniren. Die beiden Primordialblätter haben 3 strängige, am Rande vereintläufige Blattspuren, indem der linke seitliche Strang des einen Blattes sich sogleich mit dem rechten seitlichen des andern vereinigt. Der Querschnitt durch das Internodium unter den Primordialblättern zeigt daher, so lange noch keine höhern Blattspuren in dasselbe eingetreten sind, 4 Stränge. Die Medianstränge treffen nach unten auf die Vereinigungsstelle je zweier Cotyledonarstränge und endigen daselbst. Die vereintläufigen Lateralstränge trennen sich am Cotyledonarknoten, bilden eine Schlinge und gehen dann wieder vereintläufig durch den Cauliculus.

Der Medianstrang des ersten Laubblattes trifft auf die Vereinigungsstelle zweier Lateralstränge der Primordialblätter, und setzt sich daselbst an. Die beiden seitlichen Stränge liegen im erstuntern Internodium rechts und links von dem eben genannten vereintläufigen Lateralstrang. Diese Verschränkung ist die einfache Folge davon, dass, während die Spur der Primordialblätter ½ weit ist, diejenige aller folgenden Laubblätter eine geringere Weite besitzt. — Die Spur des 2. Laubblattes geht durch 2 Internodien nach unten, ohne sich mit derjenigen des ersten weder zu verschränken noch zu vereinigen, was von der grossen Divergenz zwischen dem 1. und 2. Laubblatt (fast 170°) herrührt. Der Medianstrang tritt, wie der des ersten Laubblattes, in die Vereinigungsstelle zweier seitlicher Stränge der Primordialblätter hinein, um daselbst zu endigen, während die Lateralstränge durch das folgende Internodium weitergehn. Der Querschnitt des letztern zeigt in diesem Stadium 4 stärkere und 4 damit alternirende schwächere Stränge. Wenn die Lateralbündel des ersten und zweiten Laubblattes über dem Cotyledonarknoten angelangt sind, so gabeln sie sich; der eine Schenkel setzt sich an den Medianstrang eines Primordialblattes, der andere an die zugekehrte Seite der von ihren Lateralsträngen gebildeten Schlinge an.

Die Spuren aller folgenden Blätter verhalten sich so, dass der kathodische Lateralstrang sich mit dem anodischen des nächstuntern Blattes und der anodische mit dem kathodischen des 2. untern Blattes verschränkt. — Von der hier gegebenen Regel scheinen Ausnahmen vorzukommen, welche theils darin bestehn, dass die Spuren des ersten und zweiten Laubblattes an einem Rande vereintläufig sind, theils darin, dass auch von den übrigen Blättern je 2 successive Spuren, statt verschränktläufig, vereintläufig sein können.

Ich habe bereits bemerkt, dass zuweilen nur Ein Primordialblatt vorhanden ist, und dass an der Stelle des 2. ein höher inserirtes Laubblatt steht. In diesem Fall verhält sich die Spur des letztern gleichwie die eines Primordialblattes, indem ihre Lateralstränge sich mit denen des einzigen Primordialblattes vereinigen.

Von den 3 Strängen einer Blattspur entsteht zuerst der mittlere, welcher sich bis zur Spitze des Blattes fortsetzt. An der Grenze zwischen Stiel und Spreite hat er einige verkürzte Gefässzellen, an welche sich die Stränge für die Hauptnerven ansetzen. Indessen sind die beiden seitlichen Stränge entstanden. Sie reichen zuerst bloss bis an den Grund des Blattstieles; darauf verlängern sie sich rasch nach oben und setzen sich an die Stelle des Medianstranges an, von welcher die Nerven entspringen. Dann treten im Blattstiel 2 neue Stränge auf, welche sich oben am nämlichen Orte, unten an die beiden ersten Lateralstränge ansetzen. Es folgen in gleicher Weise noch 2 Paare von Strängen, so dass im Blattstiel zuletzt im Ganzen 9 Stränge vorhanden sind, eben so viele als das Blatt Nerven hat.

Die Primordialblätter haben 2 kleine Nebenblätter, jedes derselben mit einem schwachen Fibrovasalstrang, welcher sich an die Biegungsstelle des zugekehrten lateralen Blattstranges ansetzt.

Cucumis sativus Lin.

Auf die beiden Cotyledonen folgen an der Keimpflanze alternirende Blätter, von denen das 1. und 2. mit jenen fast ein Kreuz bilden, und die folgenden schraubenständig sind. Der Verlauf der Cotyledonarspuren wurde oben angegeben (Pag. 62). Jedes der folgenden Blätter erhält 3 Stränge. Die des 1. setzen sich an die seitlichen vereintläufigen Stränge der Samenlappen an. — Die Verschränkungen der Blattspuren geschehen in der Art, dass der kathodische Strang mit der nächstuntern, und der anodische mit der 2. untern Spur sich kreuzt.

6. Blätter schraubenständig. Blattspur 7strängig; alle Stränge mit denen der nächsten Spur sich verschränkend.

Saururus cernuus Lin. (*VI*, 1, 2).

Laubsprosse. Die Divergenz der Blattspirale beträgt in der Terminalknospe etwa 139°, was nahezu mit $^5/_{13}$ übereinstimmt. Die Blätter, deren Basis von dem ganzen Stengelumfange entspringt, erhalten 7 Fibrovasalstränge, welche an der Austrittstelle gewöhnlich so angeordnet sind, dass auf der dem Mediannerven diametral gegenüberliegenden Seite ein etwas grösserer Zwischenraum gelassen ist. Die Stärke der Stränge nimmt von der Mitte nach den beiden Seiten hin ab.

Untersuchen wir das Verhalten verschiedener auf einander folgender Blattspuren, so finden wir, dass diejenige eines untern Blattes nicht in seinem Knoten selbst zwischen die der höhern Blätter eintritt, sondern dass sie, schief nach unten und innen gehend, sich allmälig dem Fibrovasalkreise nähert, und erst am nächstuntern Knoten vollständig in denselben eingedrungen ist. Dabei verändern sich die Abstände zwischen den Strängen einer Spur; die äussern seitlichen (den beiden Rändern des Blattes entsprechend) nähern sich, während die mittlern stärkern Stränge aus einander weichen. Der schiefe Verlauf einer Blattspur im ersten Internodium, für sich allein betrachtet, besteht also darin, dass (der Medianstrang vertical gedacht) alle Elemente der linken Seite rechtswendig, die der rechten Seite linkswendig sind.

Die Verschränkung zweier auf einander folgender Spuren geschieht im Allgemeinen in der Weise, dass ihre Stränge mit einander alterniren, so dass jeder einzelne zwischen 2 Elemente der nächstobern und eben so der nächstuntern Spur zu liegen kommt (Fig. 1, 2; die Stränge der 3 successiven Spuren sind A, B, C, D, E, F, G, — a′, b′, c′, d′, e′, f′, g′, — a, b, c, d, e, f). Der Medianstrang (A, a′) befindet sich zwischen den beiden äussern Strängen der Absteigseite vom nächstobern Blatt (d′ und f′, d und f) und zwischen den beiden äussern der Aufsteigseite vom nächstuntern (a′ zwischen E und G). Die Stränge einer Spur haben, wie bereits bemerkt, im ersten Internodium einen schiefen Verlauf, welchem auch die Spuren der höhern Blätter sich anpassen. Da nun immer die anodische Hälfte einer Spur sich mit der kathodischen der nächsten verschränkt, so folgt daraus, dass jeder einzelne Strang eine Zickzacklinie beschreibt, indem er in den successiven Internodien alternirend rechts und links geneigt ist. Abgesehen von diesem zickzackförmigen Verlauf ist die Richtung eines ganzen Stranges etwas schief, und zwar mit der Blattspirale antidrom. — Von der regelmässigen Verschränkung der Blattspuren giebt es verschiedene Abweichungen. Dahin gehört die zwar seltene Erscheinung, dass 2 Stränge einer Spur in den Zwischenraum einer andern eintreten. Häufiger kommt es vor, dass die stärkern Spurstränge sich spalten, und ihre beiden Schenkel in verschiedene Zwischenräume der nächstuntern Spur zu liegen kommen.

Der Ansatz der Stränge ist unregelmässig; sie gehen durch 1, 2, 3, 4 oder 5 Internodien, und setzen sich rechts oder links oder mit 2 Schenkeln beiderseits an. Ausserdem bilden sich auch noch schiefe Verbindungsstränge, so dass die Blattspuren späterhin ein Netz von langgezogenen Maschen darstellen.

Ich habe oben gesagt, dass die Blattspur erst ein Internodium tiefer in den Fibrovasalkreis eintritt. In ihrem Knoten ist sie aber mit demselben durch zahlreiche Anastomosen verbunden, welche einen horizontal liegenden netzartigen Ring bilden (Fig. 1).

7. Blätter schraubenständig. Blattspur 8strängig, am Rande vereintläufig.

Liriodendrum tulipiferum Lin. (VI, 3).

Die Divergenz der Blätter in der Terminalknospe ist ziemlich bedeutend, und scheint ²/₅ des Umfanges zu übersteigen. Aus dem Blatte treten 9 Fibrovasalstränge in den Stengel ein, von denen die 2 äussersten seitlichen sogleich im Knoten sich vereinigen und fortan einen einzigen Strang darstellen, so dass die Blattspur 8strängig ist (Fig. 3, A, B, C, D, E, F, G, H), und dass in derselben dem unpaaren Medianstrang (A) ein unpaarer vereintläufiger Marginalstrang (H) gegenübersteht. Doch ist die Opposition nicht ganz genau; der Marginalstrang liegt etwas seitlich in der Art, dass immer die anodische Hälfte der Blattspur merklich kleiner ist als die kathodische. Ferner sind die Zwischenräume in einer Blattspur ungleich gross; der grösste befindet sich zwischen dem Marginalstrang (H) und dem äussersten kathodisch-lateralen (F), der zweitgrösste zwischen dem Marginalstrang (H) und dem äussersten anodisch-lateralen (G). Die Weite der Zwischenräume nimmt nach dem Medianstrang hin ab; der kleinste (ungefähr ²/₅ des grössten) liegt zwischen dem medianen (A) und dem ersten kathodisch-lateralen Strang (B).

Nachdem die 8 Stränge durch ihr Internodium herabgegangen sind, so treten sie zwischen diejenigen der nächstuntern Spur und zwar gewöhnlich in folgender Weise ein. Der Medianstrang nebst den beiden erstseitlichen der obern Blattspur befindet sich zwischen dem marginalen und dem drittseitlichen anodischen Strang der untern Spur (a, b, c zwischen H und G). Die zweit- und drittseitlichen Stränge der Aufsteighälfte (g, e) liegen zwischen dem marginalen (H) und dem drittseitlichen kathodischen (F), die zweit- und drittlateralen der Absteigseite zwischen dem zweit- und drittlateralen anodischen der untern Spur, oder es liegt auch nur der zweitlaterale (d) in diesem Zwischenraum (G — E) und der drittlaterale (f) befindet sich im nächsten (zwischen dem erst- und zweitlateralen anodischen Strang (C — E). Endlich befindet sich der Marginalstrang der obern Spur (h) zwischen dem erst- und zweitseitlichen kathodischen der untern (B — D). Demnach gehen 3 oder 4 Zwischenräume der untern Spur leer aus.

Die Stränge einer Blattspur treten bogenförmig in den Blattstiel ein, und geben beim Ausbiegen Stränge an die Nebenblätter ab. Durch Verzweigung, zum Theil auch durch Vereinigung, stellen sie einen Kreis von meist 12 Strängen dar.

8. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur 3strängig, nur mit den Spuren der gleichen Zeile verschränktläufig.

Hertia crassifolia Less. (*VI*, 5—7).

Laubtriebe. Die Pflanze wird im Freiburger Garten als Othonna crassifolia cultivirt. — Die 3 Stränge der obersten und zweitobersten Blattspur, von denen der mittlere zuerst entsteht, sind nebenläufig; nur die senkrecht über einander liegenden Spuren verschränken sich. Ihre Stränge gehen senkrecht durch 2 Internodien, treffen im 2. Knoten auf ein entsprechendes Element der untern Spur, biegen aus und laufen neben demselben weiter hinab (Fig. 5). Die Medianstränge weichen in der Regel alternirend nach der einen und nach der andern Seite aus, z. B. derjenige der ersten Spur rechts, derjenige der dritten links, der fünften wieder rechts u. s. w. (g, n und t, k und q). Die seitlichen Stränge dagegen biegen immer convergirend (also dem Medianstrang zugekehrt) aus (uv, rs, op, lm, hi). Nicht selten setzt sich an die Biegungsstelle eines Stranges ein zweiter Schenkel an, der sich meistens durch seine geringere Mächtigkeit fortwährend als spätere Bildung kund giebt (g, k, n, o, p, q). Der obere Strang umfasst nun den untern gabelig. — Die Stränge laufen durch 4, 5 oder 6 Internodien hinab und vereinigen sich dann mit daneben liegenden Strängen.

9. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen auch in der Terminalknospe genau opponirt. Blattspur 3strängig, mit den Spuren beider Zeilen verschränktläufig.

Aristolochia Clematitis Lin. (*VIII*, 6—8).

Laubsprosse. Aus dem Blatt treten 3 Stränge in den Stengel ein. Der Medianstrang (Fig. 8, a, f, l, q, v) theilt sich sogleich in zwei, welche durch das ganze Internodium neben einander hinziehen, um im nächsten Knoten wieder zu verschmelzen und vereintläufig durch das folgende Internodium zu gehen. Die beiden seitlichen (Fig. 8, bc, gh, mn, rs, xy) verlaufen ungetheilt durch 2 Stengelglieder. Die Blattspur ist daher im eigenen Internodium 4strängig, im erstuntern 3strängig; dort umfasst sie einen Bogen von 205°, hier von 215°. An der Ausbiegungsstelle in die Blattbasis sind die seitlichen Stränge mit den beiden Schenkeln des medianen durch eine Anastomose verbunden. — Rechts und links neben den beiden mittlern Strängen der Blattspur liegt ein Strang, welcher an dem nämlichen Knoten austritt und, in mehrere Zweige sich spaltend, die axillären Blüthen versorgt (Fig. 8, de, ik, op, tu). Ich will ihn Axillarstrang nennen. — Die ganze Spur der seitlichen Gebilde eines Knotens besteht dessnahen im eigenen Internodium aus 6, im erstuntern aus 5 Strängen (abcde, fghik, lmnop, qrstu).

Der Verlauf der einzelnen Stränge ist nun folgender. Die beiden mittlern einer Blattspur (a, f, l, q, v) vereinigen sich, wie bereits bemerkt, am nächsten Knoten von neuem zum Medianstrang, welcher, über den 4 Blattspursträngen des zweiten Knotens anlangend, neben denselben ausbiegt, und, bis dahin eigenläufig, sich mit dem seitlichen der nächstuntern (ersten) Blattspur vereinigt (l mit h, q mit n, v mit r). Das Ausbiegen der Medianstränge einer Blattzeile findet gewöhnlich alternirend nach beiden Seiten statt, so dass z. B. diejenigen der 1., 5., 9. Spur rechts, diejenigen der 3., 7., 11. Spur links abweichen. An der Ausbiegungsstelle bildet sich später ein zweiter Schenkel, welcher sich an den andern lateralen Blattstrang ansetzt.

Die seitlichen Stränge der Blattspur (bc, gh, mn, rs, xy) gehen durch ihr Internodium eigenläufig, dann verschränken sie sich mit den gleichnamigen des nächstuntern Knotens, ziehen durch das folgende Internodium mit dem Medianstrang des nächstobern Blattes vereintläufig, und setzen sich im 2. Knoten je an einen Axillarstrang der nächstuntern Spur an. Die beiden Axillarstränge (de, ik, op, tu) sind im eigenen Internodium eigenläufig, im folgenden mit den lateralen Blattsträngen der nächstobern Spur vereintläufig, und setzen sich im 2. Knoten an die lateralen Blattstränge der nächstuntern Spur an.

Diese Verhältnisse sind sehr regelmässig, und es zeigt uns daher der Querschnitt durch ein Internodium constant 11 Stränge (Fig. 7), 2 neben einander liegende für den Mittelnerv des eigenen Blattes (a), rechts und links davon einen Axillarstrang für den eigenen Knoten (d, e), rechts und links davon einen lateralen Blattstrang für den erstobern Knoten (g, h), beiderseits davon einen lateralen Strang für das eigene Blatt (b, c), dann jederseits einen Axillarstrang für den erstobern Knoten (m, n), und endlich, den beiden erstgenannten gepaarten Strängen gegenüber, den Medianstrang für das zweitobere Blatt (f).

Aristolochia Gigas Lindl. (*VIII*, 3 — 5).

Laubtriebe. Wie in dem vorhergehenden Beispiel ist auch bei dieser Pflanze die Blattspur im eigenen Internodium 4strängig, im nächstuntern 3 strängig (Fig. 3), und der Medianstrang (a, f, l, o, r, u, y) setzt sich nach eigenläufigem Gange durch 2 Internodien im 2. Knoten an den lateralen Strang der nächstuntern Spur (l an g, o an m, r an p) an. Ein zweiter Schenkel, der sich später an seinem untern Ende bildet, und sich in gleicher Weise aber auf der gegenüber liegenden Seite ansetzt, lässt ihn nicht selten gabelig erscheinen. Die seitlichen Stränge (bc, gh, mn, pq, st, vx) gehen eigenläufig durch ihr Internodium, verschränken sich am ersten Knoten mit dessen lateralen Blattsträngen, gehen vereintläufig mit den Schenkeln des Medianstranges der nächstobern Spur noch durch 3 Internodien, indem sie an jedem Knoten sich mit den lateralen Blattsträngen desselben kreuzen, und setzen sich endlich am 4. Knoten an den lateralen Blattstrang der zweituntern Spur an. Wenn die Blätter Axillargebilde entwickeln, so empfangen dieselben 2 Stränge (de, ik), welche seitlich neben den mittlern Blattsträngen des gleichen Knotens liegen, und nach kurzem Verlaufe sich an die seitlichen Blattstränge der nächstobern Spur anlegen (d an h, e an g, i an n, k an m).

Der Querschnitt durch ein Internodium unter seiner Mitte zeigt 11 Stränge (Fig. 5): 2 für den Mittelnerven des eigenen Blattes (f), rechts und links davon einen Lateralstrang für das erstobere Blatt (m, n), rechts und links hievon einen Lateralstrang für das 3. obere Blatt (s, t), beiderseits davon einen seitlichen für das 2. obere Blatt (p, q), dann jederseits einen seitlichen Blattstrang für den eigenen Knoten (g, h), und endlich zwischen den letztern den Medianstrang für das erstobere Blatt (l). In der obern Hälfte des Internodiums können noch die beiden Axillarstränge hinzukommen, wodurch die Zahl auf 13 steigt.

Die Verschiedenheiten, welche Aristolochia Gigas von A. Clematitis zeigt, stehen mit dem Umstande in Verbindung, dass ihre Blattspurweite noch viel beträchtlicher ist.

Aristolochia Sipho Lin.

Der Verlauf der seitlichen Blattspurstränge ist der nämliche wie bei der vorhergehenden Art. Abweichend verhalten sich die Medianstränge. Dieselben gehen anfänglich einfach und ungetheilt durch 2 Internodien, und setzen sich am 2. Knoten erst mit einem, dann mit zwei Schenkeln an. Später findet man an der Stelle des Medianstranges eine Gruppe von 3 bis 5 Strängen. Ueberdiess bilden sich zuweilen schiefe Verbindungen zwischen den Spursträngen. — Die Spurweite eines Blattes beträgt im eigenen Internodium bis über 300°, im nächstuntern etwa 290° bis 295°.

10. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen in der Terminalknospe einseitig-genähert. Blattspur 3strängig, mit den Spuren beider Zeilen verschränktläufig.

Die beiden Blattzeilen der Laubsprosse sind im frühsten Zustande seitlichgeworfen; sie nähern sich mit der Ausbildung des Stengels immer mehr der diametral-gegenüberstehenden Lage. Entweder war die Divergenz ursprünglich 180°, und wurde durch ungleichseitige Entwickelung des Stengels bis zu dem der Beobachtung zugänglichen Stadium so weit geändert, dass sie einerseits 140—160°, anderseits 220—200° beträgt, worauf dann die Ungleichheit wieder nach und nach ausgeglichen wird. Oder, was wahrscheinlicher sein möchte, es wendet die Blattspirale nach jedem Schritte um, wie das bei den Marsileaceen und bei Platanus der Fall ist. — Die Folge dieser Blattstellung ist, dass die medianen Spurstränge der beiden Blattzeilen alle symmetrisch-convergirend ausbiegen, während beim vorhergehenden Typus das Ausbiegen der nämlichen Zeile alternirend nach rechts und links statt findet.

Medicago sativa Lin.

Laubtriebe. In der Terminalknospe neigen die beiden Blattzeilen nach einer Seite hin etwas zusammen. An der entwickelten Pflanze dagegen scheinen sie, abgesehen von etwaigen Drehungen des Stengels, genau opponirt zu sein. Die Ungleichseitigkeit giebt sich hier nur noch in der Stellung der Axillarzweige kund. Die Stengel sind symmetrisch-vierkantig, indem die stärkste und die schwächste Kante einander gegenüber stehen; jene steigt vom Rückennerv des nächsten Blattes, diese von demjenigen des zweitnächsten herunter. Von jedem Blatte gehen nämlich 3 Kanten aus, eine Rückenkante, welche durch 2 Internodien verläuft, dabei allmälig schwächer wird, und vor der Medianlinie des zweituntern Blattes endigt, und 2 Seitenkanten, welche am erstuntern Knoten auf die Seitenkanten, die von dem dortigen Blatt ausgehen, treffen.

Der Laubzweig im Winkel eines Blattes steht nicht vor der Mitte desselben, sondern seitlich davon, ebenso seitlich von der Stengelkante. In Folge dieser Thatsache ist das rautenförmige Viereck des Stengeldurchschnittes zunächst am Knoten unsymmetrisch; diejenige der 4 Seiten, welche dem Laubzweig entspricht, zeigt sich stärker entwickelt, als die auf der andern Seite des Blattes liegende, und die sonst senkrecht verlaufende Rückenkante weicht hier etwas nach der schwächern Seite hin aus. An dem Stengel stehen die Axillarzweige symmetrisch nach der nämlichen Richtung. Wenn man ihn daher vermittelst einer senkrechten Ebene halbirt, welche durch die Rückenkanten und die Blätter geht, so erhält man zwei ungleiche Hälften. Die eine trägt alle Axillarzweige, und kann Traghälfte oder Tragseite genannt werden; die andere ist zweiglos.

Das erste Blatt des Axillarzweiges ist dem Mittelnerven des Tragblattes abgekehrt, und liegt neben der Seitenkante der Traghälfte des Stengels. Die beiden Blattzeilen des Astes befinden sich daher rechts und links; seine Tragseite ist dem Stengel zugekehrt. — Im Winkel des Tragblattes steht ausser dem seitlich gerückten Zweig noch eine zweite Knospe, die sich langsam entwickelt. Dieselbe liegt mit Rücksicht auf das Blatt und die Stengelkante ziemlich median, und dem ersten Zweige des Axillarzweiges diametral gegenüber. An dieser accessorischen Knospe ist das erste Blatt dem ersten des Axillarzweiges abgekehrt.

Jedes Blatt erhält 3 Fibrovasalstränge, von denen der mittlere etwas stärker ist. Derselbe steigt innerhalb der Rückenkante durch 2 Internodien hinab, biegt am zweiten Knoten neben dem Mediannerven desselben nach der zweiglosen Stengelhälfte aus, geht dann wieder durch 2 Internodien, um am 4. Knoten nach der gleichen Richtung auszuweichen. Man findet daher bei regelmässigem Verlauf in einiger Entfernung von dem Scheitel innerhalb einer Rückenkante eine Reihe von 3 oder 4 Mediansträngen, von denen der der Kante genau entsprechende am stärksten ist, und vom nächsten senkrecht-obern Blatt kommt, während der von der Kante am weitesten abliegende sich als der schwächste kund giebt und dem 3. oder 4. obern Blatt der gleichen Zeile angehört.

Die regelmässige Anordnung wird bald durch 2 Erscheinungen gestört, durch die Stränge der Axillarzweige und durch die Gabelungen der Medianstränge selber. Zuerst sind es 2 Stränge, welche in einen Axillarzweig eintreten, und in dessen erstes und zweites Blatt gehen. Der frühere und etwas stärkere ist der Tragseite des Stengels, der andere der zweiglosen Hälfte zugekehrt. Nachher sind es zwei Gruppen von Strängen, die, vom Zweig in den Stengel übergehend, sich gewöhnlich im Knoten des letztern an andere Stränge ansetzen, und nur 1 oder 2 Stränge innerhalb der Stengelkante nach unten verlaufen lassen. Namentlich befindet sich in der Regel einer derselben auf der zweiglosen Seite der Kante. — An die Stelle, wo die herabsteigenden Medianstränge im zweituntern Knoten ausbiegen, setzt sich später häufig ein zweiter Schenkel an, welcher sich nach der Tragseite wendet, und entweder sich an einen Axillarstrang anlegt oder neben der Kante hinabgeht. So umfasst nun der obere Medianstrang den untern gabelig. Innerhalb der Rückenkante findet man späterhin eine Reihe von Strängen, von denen der mittlere dem in senkrechter Richtung nächsten Blatt angehört und der stärkste ist; die Stärke der Stränge nimmt im Allgemeinen um so mehr ab, je mehr man sich rechts und links von der Kante entfernt, indem die äussersten der einen Seite den obersten Blättern, die der andern Seite den obersten Axillarzweigen angehören.

Die seitlichen Stränge einer Blattspur gehen durch ihr Internodium innerhalb der Seitenkanten nach unten. Jeder trifft am nächstuntern Knoten auf den Lateralstrang des letztern, verschränkt sich mit demselben und geht nun durch 2 Internodien neben der Kante hinab, um am dritten Knoten noch mehr von derselben sich zu entfernen. Bei regelmässigem Verlaufe findet man in einiger Entfernung vom Scheitel unter einer Seitenkante eine Reihe von Strängen, von denen der mittlere der stärkste ist und dem nächsten Blatte angehört. Beiderseits nehmen die Stränge von der Kante weg an Stärke ab; auf der einen Seite liegen die Lateralstränge der geradbezifferten, auf der andern die der ungeraden Blätter. — Nachher bildet sich auch an den Biegungsstellen der Lateralstränge sehr häufig ein zweiter Schenkel, welcher sich meist auf die andere Seite wendet und gewöhnlich mit dem Lateralstrang der nächstuntern Spur verschmilzt, zuweilen auch getrenntläufig nach unten geht. Selten kommt es vor, dass einmal ein seitlicher Strang sich mit dem nächstfolgenden nicht verschränkt.

Die Stränge setzen sich gewöhnlich in den Knoten an tiefere an. Die Medianstränge gehen meist durch 6 Internodien, um sich im 6. Knoten anzulegen. Die lateralen verlaufen durch 2 — 6 Stengelglieder, die Axillarstränge durch 2 oder 4, ehe sie sich mit unteren vereinigen.

Von den Fibrovasalsträngen, die an einem Knoten den Stengel verlassen, entsteht zuerst der Medianstrang, dann der Lateralstrang der zweiglosen Stengelseite, dann der Lateralstrang der Tragseite und der Axillarstrang der zweiglosen Seite, endlich der Axillarstrang der Tragseite.

Die Blattspur hat im eigenen und erstuntern Internodium eine mittlere Weite von 197°, im zweituntern von 225°. — Der Medianstrang des nächsten

Blattes bildet mit demjenigen des zweitnächsten einen stumpfen Winkel von 170°.

Lathyrus Nissolia Lin. (*VIII*, 1, 2).

Laubsprosse. Die Blattstellung und der Verlauf der Stengelkanten verhält sich wie bei Medicago sativa. Die Blattzeilen mögen in der Terminalknospe etwa 140—150° von einander abstehen (Fig. 1). Mit ihrer weitern Entwicklung nähern sie sich immer mehr der opponirten Stellung. Die Blüthenstiele (Fig. 1, p^1, p^2, p^3; Fig. 2, stu), die in den Achseln der obern Blätter stehen, sind auf die entgegengesetzte Seite geworfen, und scheinen in der Terminalknospe unter einander etwa den nämlichen Abstand zu zeigen, wie die Blätter. Am Grunde des axillären Blüthenstiels steht ein accessorischer Laubzweig, ziemlich genau vor der Blattmediane (Fig. 1, r; Fig. 2, xyz). – Im Winkel der untern Stengelblätter befindet sich je ein beblätterter Zweig, welcher ziemlich auf die Mitte des Blattes trifft. Der Stengel ist hier fast stielrund.

Von den 3 Fibrovasalsträngen, welche in ein Blatt eintreten, geht der mittlere eigenläufig durch 2 Internodien und biegt am zweituntern Knoten, wo er auf den dortigen Medianstrang trifft, nach der zweiglosen Stengelseite aus, um sich sogleich an den Lateralstrang der nächstuntern Blattspur anzusetzen. Sehr bald bildet sich ein zweiter Schenkel, welcher die Ausbiegungsstelle des Medianstranges mit dem andern Lateralstrang der nächstuntern Spur verbindet. Die beiden seitlichen Stränge gehen eigenläufig durch ihr Stengelglied, verschränken sich am nächsten Knoten mit den Lateralsträngen der dortigen Spur, und sind von da an mit einem Schenkel des Medianstranges von der nächstobern Blattspur vereintläufig, bis sie sich am drittuntern Knoten an den Lateralstrang der zweituntern Spur ansetzen.

An dem Knoten treten ausser den 3 Blattsträngen noch 2 Stränge aus, welche in den Blüthenstiel gehen, und die sich mit ihrem untern Ende im nämlichen Knoten an die seitlichen Stränge des nächstobern Blattes anlegen. Der Strang, welcher auf der Tragseite liegt, spaltet sich schon im Knoten in 2 Aeste. Der eine davon geht in das untere Kelchblatt (Fig. 1 und 2, s); der andere Ast (t), sowie der aus der zweiglosen Stengelseite kommende Strang (u), theilt sich im Blüthenstiel je in 2 Aeste, welche in ein mittleres und in ein oberes Kelchblatt gehn, und von denen zuerst derjenige für das mittlere gebildet wird. Der Querschnitt durch den obern Theil des Blüthenstieles zeigt daher 5 Stränge, derjenige durch die Basis 3.

Das oberste gefässführende Stengelglied enthält 1 oder 3 Stränge, das zweite gewöhnlich 4 oder 6, und die folgenden je 8. Von diesen 8 Strängen geht der innerhalb der stärksten Stengelkante liegende in den Mittelnerv des eigenen Blattes aus. Rechts und links davon liegt fast in der Mitte der Seite je ein Lateralstrang der erstobern Blattspur. Dann folgen in den Seitenkanten die Lateralstränge der eigenen Spur, darauf die vereintläufigen Medianstränge der drittobern und die Lateralstränge der zweitobern Spur, endlich zwischen denselben und innerhalb der schwächsten Stengelkante der Medianstrang des erstobern Blattes. — Die Weite der Blattspur beträgt in den 2 ersten Internodien ungefähr 225°. Die Medianstränge bilden zusammen einen Winkel von 170°.

Ich habe bis jetzt einen regelmässigen Verlauf geschildert, wie er nicht selten, namentlich unterhalb der Terminalknospe, gefunden wird. Von dieser Regel giebt es verschiedene Abweichungen, welche darin bestehen, dass einzelne Stränge weiter, als es angegeben wurde, getrennt neben einander verlaufen. Das ist vorzüglich in der Mitte der Stengelseiten der Fall, wo dann statt Eines Stranges eine Gruppe von mehrern auftritt. Auch kommen Spaltungen, sowie im Knoten Anastomosen und Verschmelzungen vor. — Im vollkommen entwickelten Zustande zeigt der Stengel einen geschlossenen Fibrovasalring, in welchem man die Spurstränge nur undeutlich erkennt.

Von den 3 Strängen einer Blattspur bildet der mediane den Mittelnerv des Blattes; die beiden lateralen gehen in die Seiten desselben. Es ist anfänglich 3nervig (Fig. 1, opq). Zwischen dem Grunde des Mittel- und der Seitennerven bildet sich eine Anastomose, wodurch ein Fibrovasalbogen in der Breite der Blattspur hergestellt wird. Die übrigen Blattnerven, sowie auch der Nerv für jedes Nebenblatt, setzen sich an diesen Bogen, namentlich an den äussern Theil desselben an.

Ich bemerke noch, dass die Blüthenstiele rücksichtlich der Stellung ihrer Theile grosse Analogie mit den Axillarzweigen von Medicago sativa haben. Das erste (untere) Kelchblatt steht seitlich und zwar der Tragseite zugekehrt, wie das erste Laubblatt. Wie es sich zuerst entwickelt, so erhält es auch zuerst einen Fibrovasalstrang. Dann folgen die beiden mittlern Kelchblätter; die 3 Stränge zeigen nun im Blüthenstiele die nämliche Stellung, wie die 3, welche im Laubzweig in das unterste Blatt ausgehen. Zuletzt entwickeln sich die beiden obern Kelchblätter, und ebenso werden ihre Stränge zuletzt angelegt.

Lathyrus Aphaca Lin. und L. Pseudaphaca Boiss. (VI, 4; VII, 1—4).

Laubtriebe. Die Stengel sind 4kantig, die Kanten zuweilen schwach flügelartig vorgezogen. Der Querschnitt (VII, 1, 2, 4) zeigt innerhalb der beiden gegenüberstehenden Seitenkanten je einen Strang, und im Innern einen Kreis von 8 und mehr Strängen, die später durch Vereinigung an Zahl abnehmen. Der Medianstrang der Blattspur theilt sich beim Austritt in das Blatt in 3 Aeste; der mittlere schwächere geht in den Blattstiel; die beiden seitlichen Aeste bilden mit den beiden Lateralsträngen Fibrovasalbögen, aus denen die Nerven für die Nebenblätter abgehen.

Der Medianstrang (VI, 4, g, k, n, q; VII, 3, l, o, r, u) geht, wie bei L. Nissolia, durch 2 Stengelinternodien eigenläufig nach unten, biegt dann erst in einen Schenkel aus (VI, 4, q; VII, 3, u), und wird ebenfalls bald gabelig. Die beiden Schenkel setzen sich an die Lateralstränge der nächstuntern Blattspur an.

— Die beiden seitlichen Stränge (VII, 3, gh, mn, pq, st; VI, 4, hi, ml, op) verlaufen zuerst durch ihr Internodium innerhalb der Stengelkanten, treten am nächsten Knoten in den Kreis der übrigen Spurstränge ein, wobei sie sich mit dem Lateralstrang der nächstuntern Spur verschränken, gehen dann, mit einem Schenkel des Medianstrangs der nächstobern Spur vereintläufig, durch 2 Internodien, und setzen sich endlich im 3. untern Knoten an den Lateralstrang der 2. untern Spur an. — Dieser Verlauf giebt, ausser den 2 Strängen innerhalb der Kanten, 6, die einen Kreis bilden (VII, 1), und die durch Vereinigung je der beiden seitlichen sich auf 4 reduciren können.

Wenn in der Blattachsel sich ein Blüthenstiel befindet, so erhält derselbe aus dem Stengel 2 Stränge (VII, 3, de, ik), welche meistens eigenläufig durch ein Internodium gehen, und sich am nächsten Knoten an die Lateralstränge der nächstobern Spur ansetzen. Bei diesem Verlauf zeigt der Stengeldurchschnitt 8 in einen Kreis gestellte Stränge (VII, 2).

Diess ist der Typus, nach welchem weitaus die meisten Blattspurstränge bei beiden Arten angeordnet sind. Einzelne Ausnahmen entstehen dadurch, dass die Vereinigungen schon früher oder erst später stattfinden, sowie, dass zuweilen ein Lateralstrang mit dem nächstuntern sich nicht verschränkt, sondern nach der gleichen Seite ausbiegt, wie der nächstobere.

Die Weite der Blattspur beträgt in den beiden ersten Internodien 190° bis 210°. Der Winkel zwischen den beiden Mediansträngen steigt etwas über 170°.

Lathyrus odoratus Lin. (VII, 5 — 7).

Die Anordnung und der Verlauf der Spurstränge verhält sich im Wesentlichen wie bei L. Aphaca und Pseudaphaca. An den Keimpflanzen beginnt das Blattspurnetz in folgender Weise. Die beiden Cotyledonen sind einander etwas genähert. Jeder hat eine 2strängige ziemlich enge Spur. Die beiden alternirenden Primordialblätter sind 3spaltige Niederblätter. Das erste steht in dem grössern Zwischenraum zwischen den Cotyledonen, das zweite in dem kleinern. Die folgenden Blätter sind laubblattartig und schliessen sich zweizeilig an die Primordialblätter an.

Der Medianstrang des ersten Primordialblattes steigt durch sein Internodium und das Stengelchen hinab. Die beiden Lateralstränge gehen eigenläufig bis zum Cotyledonarknoten, wo sie sich an die zugekehrten Stränge desselben ansetzen. Der Medianstrang des zweiten Primordialblattes verläuft durch 2 Internodien und das Stengelchen. Seine Lateralstränge gehen eigenläufig durch ihr Stengelglied, verschränken sich am nächsten Knoten mit den seitlichen Strängen desselben und steigen durch das folgende Internodium in das Stengelchen hinab, wo sie zwischen dem Medianstrang des ersten Primordialblattes und den Cotyledonarsträngen liegen. — Der Medianstrang des 3. Blattes (1. Laubblattes) spaltet sich am 2. untern Knoten in zwei Schenkel, die sich an die Lateralstränge der nächstuntern Spur anlegen. Die Lateralstränge verschränken sich am nächstuntern Knoten wie gewöhnlich, und setzen sich im 3. Knoten an die dem schmalen Zwischenraum zugekehrten Cotyledonarstränge an. — Die 8 Stränge im Cauliculus verschmelzen bald in einen Ring, welcher nur beiderseits unter den Cotyledonen geöffnet ist.

Alle folgenden Blattspuren verhalten sich in analoger Weise (Fig. 5, 7). Der Medianstrang (Fig. 5, g, k, n; Fig. 7, d, g, k, n, q) spaltet sich am zweituntern Knoten in 2 Schenkel, welche sogleich oder erst 1 Glied tiefer sich an die Lateralstränge des erstuntern Blattes anlegen. Die seitlichen Stränge (Fig. 5, hi, lm, op; Fig. 7, ef, hi, lm, op) verschränken sich am erstuntern Knoten mit den dortigen seitlichen, und vereinigen sich dann am dritten Knoten mit den Schenkeln des Medianstranges. Der Querschnitt zeigt bald 10 Stränge (Fig. 6), bald auch nur 8, jenachdem die Verschmelzung der Schenkel des medianen mit den lateralen höher oder tiefer erfolgt, und in ältern Stadien nur 6 (wie in Lathyrus Aphaca, VII, 4).

Lathyrus purpureus Desf.

Laubtriebe. Der Verlauf des Blattspurnetzes stimmt auch hier im Allgemeinen mit den vorhergehenden Arten überein. Nur verhalten sich die lateralen Stränge etwas abweichend, was mit dem Umstande zusammenhängt, dass die seitlichen Stengelkanten mehr flügelartig geworden sind. Anfänglich zwar erscheinen die Lateralstränge ganz normal, indem sie durch ihr Stengelglied innerhalb der Kante desselben hinabsteigen, und, mit den seitlichen Strängen der nächstuntern Spur sich verschränkend, in den innern Kreis eintreten; später aber bildet sich an der Verschränkungsstelle eine Anastomose, so dass der obere Strang hier sich gabelig zu theilen scheint. Ausserdem entstehen noch andere accessorische Stränge in den flügelartigen Anhängen des Stengels, namentlich ziemlich constant ein solcher, welcher innerhalb des kantenständigen Lateralstrangs und parallel mit demselben durch die ganze Länge des Internodiums verläuft.

11. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur meist 5strängig; die Lateralstränge zweier successiver Blätter nicht vollständig verschränkt.

Vitis vinifera Lin. (X, 1).

Die Blätter sind an den Schossen alternirend-zweizeilig; immer je 2 auf einanderfolgende haben eine Ranke gegenüber, während das dritte leer ausgeht. Bekanntlich betrachtet man diese rankentragenden Schosse als Sympodien, deren successive Sprosse je in eine Ranke endigen. Diese Deutung, so sehr sie mit andern Thatsachen übereinstimmt, scheint wegen des Verhaltens der Terminalknospe etwas zweifelhaft. Untersucht man die letztere auf senkrechten Schnitten, welche mit der Blattebene parallel laufen, so folgen an der senkrechten und fast geraden Stammspitze die Blätter von unten nach oben in ununterbrochener Reihe auf einander. Während bei andern Sympodien die Blüthe zuerst endständig ist, und nachher seitlich geschoben wird, sieht man bei der Weinrebe keine Spur von einem solchen Prozesse. Die Ranke tritt immer als seitliches Organ auf. Sie ist in den frühsten Stadien kürzer als die Stammspitze, während sie nachher in Folge ihrer raschen Entwicklung dieselbe beinahe oder wirklich überragt. Die Entwicklungsgeschichte scheint daher die Vermuthung an die Hand zu geben, entweder dass die Ranke seitlich an der Stammspitze ohne Tragblatt entstehe, oder eher dass eine wirkliche Dichotomie des Scheitels statt habe. Im letztern Falle würde Vitis in der Verzweigung mit Lycopodium übereinstimmen. Auch die Erscheinungen an den wachsenden und sich theilenden Enden der Ranken selber sind dieser Anschauungsweise nicht ungünstig. — Das Verhalten der Blätter harmonirt ebenfalls nicht wohl mit der Theorie, dass die Schosse Sympodien seien. Alle nämlich, es mögen denselben Ranken gegenüber stehen oder nicht, haben Axillarknospen mit durchaus gleicher Entwicklungsfähigkeit. Ihre gegenüberstehenden Blattzeilen befinden sich rechts und links, indess am Sympodium der spätere Spross die Blattstellung des frühern fortsetzen würde. Das erste Blatt aller Axillarzweige am gleichen Ast fällt constant auf die nämliche Seite.

In jedes Blatt gehen 5 Fibrovasalstränge, welche unsymmetrisch angeordnet sind (Fig. 1, abcde, hiklm, opqrs, uvwxy, *αβγδε*, *ζηϑικ*). Der erste laterale Strang der einen, z. B. der linken Seite (d) macht einen kleinen Bogen und ist auch beim Austritt in das Blatt dem Medianstrang (a) mehr genähert, als der erste laterale rechts (b); ebenso macht der zweite laterale Strang links (e) einen kleinern Bogen, als der nämliche Strang auf der rechten Seite (c). Wir können somit eine schwächere und eine stärkere Hälfte der Blattspur unterscheiden; jene mit geringerer, diese mit grösserer Spurweite. Die schwächere Hälfte der Blattspur liegt immer auf derjenigen Seite, wo sich das erste Blatt des Axillarzweiges befindet. An einem ganzen Schoss befinden sich daher die schwachen Hälften der Blattspuren symmetrisch auf der gleichen Seite (ade, hik, ors, uvw, *αεδ*, *ζηϑ*). — In jede Ranke treten aus dem Stengel 3 Fibrovasalbündel ein (g, t, z); ebenso in die Axillarknospe (f, n).

Jeder Blattspurstrang kann durch 2 bis 7 Internodien hinabsteigen, ehe er sich mit einem andern vereinigt. Die 3 Stränge der Rankenspur, ebenso die Axillarstränge gehen nebenläufig durch ihr Stengelglied, und setzen sich meist schon im nächstuntern Knoten an Blattstränge an, wobei gewöhnlich 2 nach der einen, der 3. nach der andern Seite ausbiegen (t, n). Zuweilen gehen einzelne oder alle, vereintläufig oder eigenläufig, durch 2 und 3 Internodien hinab (z). — Der Querschnitt zeigt uns daher in geringer Entfernung vom Scheitel bis auf 30 und mehr Spurstränge. Weiter nach unten beginnt die Vereinigung derselben zu einem geschlossenen Fibrovasalring.

Die Verschränkungen zweier auf einander folgender Blattspuren finden in mannigfacher Weise statt: 1) Der erste seitliche Strang verschränkt sich nicht, der zweite seitliche mit dem zweiten seitlichen (ml, ik, rs, pq, xy, βγ, κι). 2) Der erste seitliche verschränkt sich nicht, der zweite mit dem ersten (vw). 3) Der erste und zweite seitliche verschränken sich beide mit dem zweiten (δε). 4) Der erste seitliche ist mit dem zweiten, der zweite mit dem ersten verschränktläufig (ηϑ). 5) Beide seitliche sind mit dem ersten verschränkt (!). — Beide Hälften einer Blattspur sind rücksichtlich der Verschränkung oft ungleich, wobei gewöhnlich die stärkere Verschränkung der stärkern Hälfte entspricht.

Auch das Ausbiegen der Blattspurstränge neben den gleichnamigen des zweiten (d. h. des nächsten senkrecht-untern) Blattes zeigt verschiedene Modificationen. Der Medianstrang scheint bald nach rechts, bald nach links abzuweichen. Von den beiden seitlichen Strängen geht entweder jeder auf die dem Mediannerven zugekehrte (rs, xy, ικ) oder jeder auf die abgekehrte Seite (vw, ηϑ) des entsprechenden untern Stranges, oder sie fassen die beiden untern Stränge zwischen sich (pq), oder werden von denselben umfasst (βγ, δε). Gewöhnlich findet ein Alterniren in diesen Ausbiegungen statt, so dass sich z. B. die dritte Blattspur anders verhält als die erste, die vierte anders als die zweite u. s. w.

Die 3 Stränge, welche aus dem Stengel in die Ranke eintreten, verzweigen sich sogleich, und diese Verzweigung dauert fort, so lange die Ranke wächst, weil immer ein Theil der Stränge in ihre Aeste abgeht, auch je einer in die schuppenförmigen Blätter der Ranken eintritt. In der Spitze der ausgewachsenen Ranke verdicken sich die Fibrovasalstränge, und neigen sich gegen einander. Der Querschnitt durch die Internodien und die Aeste zeigt 12 bis 25 Stränge.

An der Keimpflanze beginnt die Anordnung der Stränge folgendermaassen. Die 2strängigen Cotyledonarspuren werden gegen den Grund des Stengelchens an den Rändern vereintläufig. Die Spur des ersten Laubblattes (Primordialblattes), welches mit den beiden Samenlappen übers Kreuz alternirt, ist 5strängig. Der mediane und die beiden erstseitlichen Stränge gehen in die eine Gabel der Cotyledonarstränge, die beiden zweitseitlichen in die andere. Das zweite Laubblatt ist dem ersten fast gegenüber, aber höher inserirt. Von seinen 5 Strängen treten ebenfalls die 3 innern in die eine, die beiden äussern in die andere Gabel der Cotyledonarspuren ein.

Ampelopsis hederacea DC. (*IX*, 1—3).

Laubtriebe. Die Stellung der Blätter und der Ranken verhält sich gleich wie bei Vitis. Der Verlauf der Stränge ist noch viel unregelmässiger. Die Blattspuren sind 3, 4 oder 5strängig, und meistens ebenfalls deutlich ungleichhälftig. Ihre Stränge gehen durch 2—7 Internodien, ehe sie sich ansetzen (Fig. 1, 2). Zuweilen verschränkt sich eine Spur beiderseits mit der des nächstuntern Blattes (Fig. 2, hi, mn, qr, vu); häufig findet die Verschränkung nur an Einem Rande statt (Fig. 1, εζ; Fig. 2, yz); seltener bleibt sie ganz aus (Fig. 1, gf, ik, on, sr). Die Medianstränge biegen am zweiten Knoten bald rechts bald links aus (Fig. 1, h, q, y, η; Fig. 2, l, t, γ). Die seitlichen fallen bald auf die äussere (Fig. 1, i, n, r, s; Fig. 2, q, r, v, u), bald auf die innere Seite (Fig. 1, k, o, v; Fig. 2, m, n) der gleichnamigen Stränge der zweituntern Spur. An der Ausbiegungsstelle bildet sich zuweilen ein zweiter Schenkel, der nach der andern Seite geht (Fig. 2, m).

Aus einer Ranke treten 3 oder auch nur 2 Stränge in den Stengel ein (Fig. 1, d, l, p; Fig. 2, e, o, s), welche nebenläufig durch ein Internodium hinabsteigen, und dann meist, nach rechts und nach links auseinander gehend, an Blattspurstränge sich ansetzen (Fig. 2, o). Zuweilen auch ziehen sie noch durch 1 oder 2 Internodien weiter (Fig. 1, p). — In den Ranken selber sind die Stränge wie bei Vitis angeordnet. — Auch das Verhalten der Keimpflanze stimmt mit dieser Gattung überein.

12. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur meist 5strängig; die Lateralstränge zweier successiver Blätter vollständig-verschränkt.

Phaseolus vulgaris Lin. und Ph. multiflorus Lam. (X, 2 — 4).

An der Keimpflanze folgen auf die beiden Cotyledonen 2 opponirte, mit jenen ein Kreuz bildende Primordialblätter, darauf die alternirend-zweizeiligen Laubblätter. In jeden Samenlappen geht eine Fibrovasalmasse aus, die 2- oder mehrsträngig und nebenläufig durch das Stengelchen zieht (Fig. 3, a, b). Jedes der beiden Primordialblätter erhält 5 Stränge (Fig. 3 und 4, i, k), die sich sogleich im Knoten mit einander verschränken und an einander anlegen; indem der rechte erstseitliche eines Blattes mit dem linken zweitseitlichen des andern und ebenso der linke erstseitliche mit dem rechten zweitseitlichen sich vereinigt. Die Spur der beiden Blätter zusammen ist desshalb 6strängig, (cdefgh). Am Cotyledonarknoten biegen sie so aus, dass ein Medianstrang und 2 der vereintläufigen Lateralstränge (c und ch, d und fg) in jedem mit den Cotyledonarspuren alternirenden Zwischenraum sich befinden, wo dann verschiedene Vereinigungen statt haben.

Die 5 oder 4 Stränge einer Laubblattspur gehen durch ihr Internodium innerhalb der Kanten desselben, und verschränken sich am nächsten Knoten mit den Lateralsträngen des letztern (Fig. 2), und zwar der erste laterale der obern Spur (z. B. f oder g) mit dem zweiten der untern (mit d oder c), der zweite (h oder i) mit dem ersten (b oder a). Von den 5 Strängen entstehen zuerst die 4 seitlichen, welche 2 Bögen beschreiben und sich zum Mittelnerv des Blattes vereinigen; darauf bildet sich der Medianstrang, welcher anfänglich mit einem, nachher mit zwei Schenkeln von der Vereinigungsstelle der beiden Bögen entspringt und nach unten geht. Später scheint er die directe Fortsetzung vom Mittelnerven des Blattes zu sein. Zuweilen bleibt die Bildung des Medianstrangs ganz aus, so dass die Blattspur 4strängig bleibt (Fig. 2, abcd, fghi, lmno, qrst, uvwx. Die Spurstränge gehen durch zwei oder mehrere Internodien nach unten und vereinigen sich bald unregelmässig bald regelmässig mit einander, z. B. der erste laterale nach 2 Schritten mit dem ersten der untern Spur (l mit g, m mit f, r mit l, q mit m) und der zweite laterale nach 3 Schritten mit dem zweiten der zweituntern Spur (s mit h, t mit i, x mit o, w mit n).

Die Axillarknospe der Laubblätter erhält aus dem Stengel 2 Stränge (Fig. 2, e, kk, p), welche meistens im nächsten Knoten sich rechts und links anlegen (an die zweitseitlichen der obern Spur), zuweilen aber auch durch 2 Internodien hinziehen.

13. Blätter alternirend-zweizeilig; Zeilen einseitig-genähert. Blattspur 7—9strängig; alle Stränge zweier successiver Blätter verschränkt.

Platanus occidentalis Lin. (X, 5).

Laubtriebe. Die Blätter stehen in 2 Zeilen, welche am ausgebildeten Spross deutlich auf einer Seite etwas genähert sind, und an demselben eine schmale und eine breite Hälfte scheiden. In der Terminalknospe scheint mir die Divergenz etwa 138° zu betragen. Das zweite Blatt fällt genau über das Ausgangsblatt, das dritte über das erste. Die Blattspirale wendet also nach jedem Schritte um. Wenn an der einen Blattzeile des Zweiges die anodische Seite rechts, die kathodische links liegt, so ist die Lage bei der andern Zeile umgekehrt; und zwar befindet sich die anodische Seite beider Zeilen auf der schmalen Stengelhälfte, die kathodische auf der breiten.

Die Zahl der aus einem Blatte in den Zweig eintretenden Stränge ist verschieden. Es lassen sich aber bestimmte constante Verhältnisse nachweisen. Auf der Seite der Medianlinie befinden sich gewöhnlich 3 genäherte Stränge (Fig. 5, A); ich will sie als die Medianstränge bezeichnen. Es kommt auch vor, dass der anodische derselben mit dem mittlern mehr oder weniger verschmolzen ist. Diese Medianstränge gehen nebenläufig im Stengel nach unten, bis sie etwa nach einem Internodium sich in einen einzigen vereinigen. — Ausserdem treten 5 seitliche Stränge aus dem Blattstiel in den Zweig ein, und zwar 2 auf der schmalen oder anodischen (E, F), 3 auf der breiten oder kathodischen Seite (B, C, D).

Das junge tutenförmige Nebenblatt hat am Grunde 7—9 Stränge, von denen 2 etwas stärkere in den vorspringenden und verdickten Ecken rechts und links vom Blattstiel, die übrigen auf der abgekehrten Seite desselben sich befinden. Am Knoten vereinigen sich jene beiden stärkern mit den extremen Lateralsträngen des Blattstieles. Die übrigen sammeln sich gewöhnlich in 2, zuweilen in 1 oder 3 Stränge, die selbständig in den Stengel eintreten (G, H, I).

Die ganze Blattspur, die den Umfang des Stengels vollständig oder nahezu einnimmt, besteht somit aus den Mediansträngen, aus 5 seitlichen Petiolar- und aus 1 — 3 Stipularsträngen. Im Stengelknoten sind sie durch Gefässbögen verbunden; nur bleibt in der Regel die Stelle zwischen den beiden Stipularsträngen offen, wesswegen die Spur vielleicht nicht $^1/_1$, sondern blos $^7/_8$ oder $^6/_8$ weit zu nennen ist.

Die Medianstränge gehen, wie bereits bemerkt, nebenläufig durch ihr Stengelglied, und verschmelzen dann gewöhnlich mit einander. Der vereinigte Strang liegt im erstuntern Knoten zwischen dessen anodischem zweitseitlichem Petiolar- und dem nächsten Stipularstrang, (a′ zwischen F und H), oder es liegt die andere Hälfte der Medianstränge zwischen den Stipularsträngen (a′ zwischen H und I). Der erste anodische Petiolarstrang verschränkt sich mit dem zweiten anodischen des untern Knotens, und befindet sich im nächsten Glied zwischen demselben und dem ersten anodischen (e′ zwischen E und F). Der zweite anodische Petiolarstrang verschränkt sich mit dem ersten anodischen des folgenden Blattes, und liegt zwischen demselben und den Mediansträngen (f′ zwischen E und A). Der erste kathodische Petiolarstrang (b′) tritt zwischen die Stipularstränge ein (H und I). Der zweite kathodische Petiolarstrang befindet sich zwischen denselben und dem dritten kathodischen Petiolarstrang (c′ zwischen I und G, c′ zwischen G und D). Der dritte kathodische Petiolarstrang verschränkt sich mit dem dritten kathodischen der nächstuntern Spur, und liegt zwischen demselben und dem zweiten (d′ zwischen D und C). Von den beiden Stipularsträngen tritt gewöhnlich der eine zwischen den zweiten und ersten kathodischen (g′ zwischen C und B), der andere zwischen den ersten kathodischen und die Medianstränge des nächsten Blattes.

Jeder der Blattspurstränge geht gewöhnlich durch 2 Internodien, um am zweiten Knoten, wo sie auf die senkrechtuntern Stränge treffen, auszubiegen oder auch sich gabelig zu theilen, worauf er noch durch 1 oder 2 Stengelglieder hinabsteigen kann, ehe er sich an untere Stränge ansetzt. Zuweilen finden jedoch die Vereinigungen schon früher statt. So scheint es namentlich Regel zu sein, dass der mittlere der Medianstränge oder auch der vereinigte Medianstrang dicht unter dem nächsten Knoten mit dem anodischen Stipularstrang verschmilzt. Auch der erste kathodische Petiolarstrang vereinigt sich häufig schon in gleicher Höhe mit einem andern Stipularstrang.

14. Blätter alternirend-zweizeilig. Blattspur 10—13strängig; alle Stränge zweier successiver Blätter verschränkt.

Menyanthes trifoliata Lin. (*XI*, 1).

Laubsprosse. Die Untersuchung wurde an magern, fast trocken wachsenden Exemplaren gemacht. Die Blätter stehen in 2 verticalen Zeilen, welche an der obern Seite des niederliegenden Stengels einander genähert sind, und höchstens einen Bogen von 165° zwischen sich haben. Die scheidenförmige Blattbasis entspringt vom ganzen Stengelumfange und ist am Grunde eingerollt, in der Art, dass immer der Rand der schwächern (obern) Hälfte übergreift. Die Einrollung ist daher an den Blättern einer Zeile gleich, in beiden Zeilen ungleich.

Von den Blattspursträngen sind 10, ehe sie in den Fi
gels eintreten, in einen Kreis gestellt (Fig. 1). I (A) sei de
IV (D), VI (F), VIII (H), X (K) die Lateralstränge der st
V (E), VII (G), IX (J) diejenigen der schwächern Hälfte.
nimmt von I bis X (oder von A bis K nach ihrer alphabe
regelmässig ab, ebenso die Grösse der Zwischenräume zwis
und X (K) liegen am nächsten beisammen. Zwischen I
und III (C), II (B) und IV (D), III (C) und V (E) befin
halb des Kreises je ein schwächerer Strang, den ich als $^{I}/_{II}$
$^{III}/_{V}$ (Q) bezeichnen will. Wenn alle diese Stränge vorhan
Zahl 14. Es können aber je die kleinsten mangeln, und s
Reihenfolge: $^{III}/_{V}$ (Q), $^{II}/_{IV}$ (P), X (K), IX (J).

Die Entstehung findet in folgender Ordnung statt:
$^{I}/_{II}$, VII, $^{I}/_{III}$, VIII, IX, $^{II}/_{IV}$, X, $^{III}/_{V}$ (A, B, C, D, E, F, N
Wenn V (E) gebildet ist, so beginnt das nächstobere Blat
spurstränge steigen durch die Rinde des Stengels schief
und treten früher oder später in den Fibrovasalkreis ein.
cher diess geschicht, ist folgende: I, II, III, IV, V, V
IX, X, $^{II}/_{IV}$, $^{III}/_{V}$ (A, B, C, D, E, F, G, N, H, O, J, K,
vertheilt sich auf die ganze Länge eines Internodiums; so
den letztgenannten Strängen I (A′) des nächstuntern Bla
$^{III}/_{V}$ (Q) können selbst tiefer als I (A′) eintreten.

Die Verschränkung zweier auf einander folgender
Allgemeinen so statt, dass zwischen 2 Stränge der untern
zu liegen kommt. Ausnahmen hievon finden constant an
und dem Rande der Blätter entsprechenden Stellen statt
zwischen I und $^{I}/_{II}$ (A und N), zwischen I und $^{I}/_{III}$ (A un
der kleinen Randstränge eintreten. Seltener geschicht e
obern Spur auf einen solchen der nächstuntern trifft u
Schenkeln umfasst.

Was das Verhalten der Stränge einer Spur zu den
befindlichen des zweituntern Blattes betrifft, so gelten im
Regeln. Die Medianstränge (I oder A) biegen immer nach
der Spur aus. Alle seitlichen Stränge der schwächern H
VII, IX oder O, C, Q, E, G, J) und von der stärkern di
II (N und B) biegen nach der nämlichen Seite aus, wie
gleichen Spur. Die übrigen Lateralstränge der stärker
VIII, X oder P, D, F, H, K) biegen in entgegengesetzte
diesen Regeln giebt es einzelne Ausnahmen; am häufigs
weichendes Verhalten. Im Ganzen aber können wir v
Blattspur aussagen, dass ihre Hälften ($^{I}/_{II}$, I, III, V, VII
VI, VIII, X anderseits) einen entgegengesetzt-schiefen V
im Stengel abwärts steigend, auf der Randseite einander

Die Stränge gehen durch 1 bis 3 und 5 Internodien, bis sie sich an untere ansetzen. Im Ganzen sind sie um so kurzschrittiger, je schwächer sie sind. — Nicht selten wird ein Strang, da wo er über dem senkrecht-untern ausbiegt, durch Bildung eines zweiten Schenkels gabelig. Ausser diesen Gabelungen bilden sich nachträglich auch noch schiefe Anastomosen zwischen den Strängen, so dass man zuletzt eine Art Netz mit sehr langgezogenen Maschen erhält, welches nicht zu einem geschlossenen Fibrovasalring sich ausbildet.

Da alle Medianstränge nach der schwächern Stengelhälfte ausbiegen, so haben die der einen und andern Blattzeile einen entgegengesetzt-schiefen Verlauf, und der Abstand zweier successiver Medianstränge wird um so kleiner, je weiter sie im Stengel nach unten gehen. Ich habe früher gesagt, dass die Divergenz zweier successiver Blätter ungefähr 165° beträgt. Ihre Medianstränge zeigen nach einander durchschnittlich folgende Abstände: 161°, wenn das untere noch in der Blattscheide ist, — 159°, wenn es in der Rinde sich befindet, — 153½°, wenn es in den Kreis eintritt, — 151° tiefer im Kreis.

15. Blätter opponirt. Spuren 1strängig.

Die Stränge biegen am zweituntern Knoten bald symmetrisch-convergirend (der eine rechts, der andere links), bald gleichwendig (beide rechts oder beide links) aus. Die Art dieses Ausbiegens ist für gewisse Pflanzen constant; es scheint aber, dass andere beide Arten vereinigen. Es kann übrigens nur in den allerfrühsten Zuständen beobachtet werden; später bildet sich meistens an der Ausbiegungsstelle ein zweiter Schenkel, so dass der Strang gabelig wird und somit den untern rittlings umfasst.

Fraxinus excelsior Lin. (*XII*, 9).

Laubsprosse. Die Blattpaare alterniren auch in der Terminalknospe von Frühjahrstrieben genau kreuzweise. In jedes Blatt geht eine breite Fibrovasalmasse aus, welche bald ziemlich ungetheilt, bald in 2 oder 4 und noch häufiger in 3 Partien getheilt erscheint und in dieser Weise durch das Internodium hinabsteigt. Schon oben im erstuntern Internodium spaltet sie sich in 2 Stränge, welche abwärts immer mehr aus einander weichen, so dass sie rechts und links neben die Fibrovasalmasse zu liegen kommen, welche im zweituntern Knoten in das Blatt ausgeht und getrennt neben derselben noch durch wenigstens ein Stammglied hinziehen. Diese Verhältnisse lassen sich nur in der Stammspitze selbst erkennen, deren Glieder sich nach oben sehr rasch verkürzen (Fig. 9). In den allerjüngsten Zuständen sind die Stränge einfach, und biegen gleichwendig (unsymmetrisch) aus; wenigstens war diess in den wenigen beobachteten Zweigen der Fall.

Vinca minor Lin. (XI, 8) und V. major Lin.

Laubtriebe. Die Blattzeilen sind schon in der Terminalknospe genau kreuzweise. Die breiten Stränge spalten sich am zweituntern Knoten gabelig. Anfänglich, wenn sie erst aus einem oder zwei Gefässen bestehen, sind sie einfach und biegen (nach 2 Beobachtungen zu schliessen) symmetrisch-convergirend aus (Fig. 8, e, f). Die Stammglieder verkürzen sich rasch nach der Spitze, und man findet oft schon im 4. oder 5. gefässführenden Internodium einen geschlossenen Fibrovasalring.

Apocynum hypericifolium Ait.

Laubsprosse. Diese Pflanze hat grosse Aehnlichkeit mit Vinca. Der Strang, der in das Blatt ausgeht, wächst rasch in die Breite, und nahe unter der Stammspitze findet man einen geschlossenen Fibrovasalring. Aus der Axillarknospe treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche sich sogleich an die Gabeläste des Stranges ansetzen, der vom zweitobern Blattpaar kommt. Die Blätter in der Terminalknospe sind nicht diametral gegenüber, sondern etwas genähert. Dem entsprechend scheinen auch die Stränge ursprünglich symmetrisch-convergirend auszubiegen.

Phlox Spec.

Die kreuzweise Anordnung ist schon an den obersten Blattpaaren vorhanden. Die Internodien verkürzen sich auch hier rasch. Wenn die Stränge erst aus einem Gefäss bestehen, sind sie noch ungetheilt und biegen gleichwendig aus, was dreimal beobachtet wurde. Nachher bildet sich die Gabel; die Stränge verbreitern sich rasch und schliessen sich bald zu einem Ring.

Veronica incisa Ait.

Das Ausbiegen der ursprünglichen noch ungetheilten Spurstränge findet bald gleichwendig, bald symmetrisch-convergirend statt. Das Erstere wurde fünfmal, das Letztere sechsmal beobachtet. Im Uebrigen verhält sich diese Pflanze wie die vorhergehenden.

Calluna vulgaris Sal.

Laubzweige. Die Blattpaare alterniren in der Terminalknospe genau kreuzweise. Aus jedem Blatt geht ein Strang durch 2 Stengelglieder nach unten und spaltet sich daselbst gabelig.

Hypericum quadrangulum Lin. (XII, 3, 4) und Androsaemum officinale All.

Laubtriebe. Die Blattzeilen kreuzen sich schon in der Terminalknospe rechtwinklig. Die Stränge spalten sich am zweituntern Knoten gabelig (Fig. 3, 4).

Wegen ihres raschen Breitenwachsthums zeigt schon das 5. oder 6. Internodium einen geschlossenen Fibrovasalring.

Evonymus europaeus Lin.

Laubtriebe. Schon in den frühsten Zuständen kreuzen sich die Blattpaare rechtwinklig. Zweimal wurde symmetrisch-convergirendes Ausbiegen der jüngsten Spurstränge beobachtet. Bald tritt Gabelung ein. Die Stränge verbreitern sich rasch, so dass man im 4. und 5. gefässführenden Internodium sie nicht mehr deutlich unterscheiden kann, und im 6. oder 7. Glied der Fibrovasalring geschlossen ist.

Alsine laricifolia Wahlenb. (IX, 4, 5).

Frühjahrstriebe, welche noch keine Endblüthe angelegt haben. Die Blätter sind in der Terminalknospe ziemlich gegenüber, wenn auch nicht vollkommen diametral. Das eine Blatt eines Paars trägt den grössern oder einzigen Ast; ich will es das Anfangsblatt nennen. Die successiven Paare alterniren nicht rechtwinklig; der Abstand der Anfangsblätter beträgt im Mittel 85°. Sie bilden eine rechts- oder linkswendige Spirale, und alle Blätter zusammen sind in 4 etwas schiefe Zeilen geordnet, von denen jede etwa durch 70 Internodien einen Umlauf beschreiben würde. Diese Stellungsverhältnisse lassen sich nur in der Knospe deutlich sehen (Fig. 4).

Der Fibrovasalstrang eines Blattes geht durch 2 Stengelglieder nach unten, und trifft im zweiten Knoten nicht genau auf den entsprechenden Strang des letztern. Er biegt neben demselben immer in einem der Spirale der Anfangsblätter entgegengesetzten Sinne aus (d. h. zur Rechten, wenn die Spirale linkswendig ist). Die beiden Stränge eines Blattpaars verhalten sich daher gleichwendig (Fig. 2, p. 9). Bald bildet sich an der Ausbiegungsstelle ein zweiter Schenkel, so dass der nun gabelige Strang den untern einfasst. Die Stränge verbreitern sich rasch und schmelzen bald zu einem vollständigen Ring zusammen.

Dianthus plumarius Lin. (XI, 2).

Frühjahrstriebe, die noch keine Gipfelblüthe angelegt haben. Das Verhalten ist dem der vorhergehenden Pflanze ähnlich. Die Blätter sind in der Terminalknospe ebenfalls nicht genau diametral gegenüber, und der Winkel, den 2 successive Paare bilden, ist kleiner als 90°. Wenn die Spurstränge erst aus einem Gefässe bestehen, sind sie einfach und biegen gleichwendig (unsymmetrisch) aus (Fig. 2, l, m). Bald aber werden sie gabelig (i, k), wachsen rasch in die Breite und schmelzen in einen Ring zusammen. Man kann die Gabeläste bis auf die Länge von 2 und 3 Internodien verfolgen.

Spergula arvensis Lin. (XI, 3, 4).

Kleine Pflänzchen, die noch keine Blüthenknospen angelegt haben. Die Blätter der Terminalknospe sind weder diametral gegenüber, noch die Paare genau

kreuzweise. Besonders ist dieses Abweichen von der dec
deutlich an den Axillarknospen, deren erste Blätter sich
scheinbar mit den Tragblättern einen Quirl darstellen.

An jedem Knoten treten 2 Stränge aus, je einer i
erscheint 3gabelig, indem sich rechts und links ein Strang
des Axillarzweiges geht, ansetzt. Die beiden Stränge, die
paar eintreten, endigen nach unten in den beiden Winkel
ges, so dass derselbe auch 5gabelig erscheinen kann.

Die beiden Stränge eines Knotens gehen mit denjeni
larästen sich an sie angesetzt haben, vereintläufig nach unte
trennt sich von den letztern einer, oder auch beide unterha
los, so dass die Spur bald 1-, bald 2-, bald 3- und selbst
Sie zieht durch 2 Internodien, und spaltet sich am zweiten
Ursprünglich aber bog die noch ungetheilte Spur immer ei
y, z). Dieses Ausbiegen geschieht meistens gleichwendi
symmetrisch-convergirend. — Zuweilen setzt sich die B
sich am zweiten Knoten gabelig getheilt hat, sogleich an d
Knotens an (Fig. 4, v); in der Mehrzahl der Fälle jedoch
das 2. untere Internodium (x, y, z), um sich dann an die S
tern Blattpaars anzulegen. In einzelnen Fällen kann sie s
gung 4 oder 5 Stengelglieder durchlaufen.

Da die Blattspuren aus ungleich vielen (1—4) Sträng
ungleich langen Verlauf haben, so ist die Zahl der Spursträn
des ausgebildeten Internodiums zeigt, verschieden; sie v
Anordnung ist, abgesehen von 4 kreuzweise gestellten und
sich auszeichnenden Strängen, mehr oder weniger unregel

Cerastium frigidum Biebrst. (XI, 5—7) und C

In der Laubregion geht die einsträngige Blattspur g
dien, und spaltet sich am 2. untern Knoten, wo sie auf
trifft, in zwei Schenkel. Diese durchziehen ein Stengelgli
dritten Knoten an die Schenkel der Stränge vom erstunter
Die Folge davon ist, dass jeder Querschnitt regelmässig
stärkere opponirte, die dem eigenen Blattpaar angehören,
stellte etwas schwächere für das erstobere Paar, und 4 zwi
4 genannten alternirende) noch schwächere, welche die Sch
2. obern Paar sind.

Das Laubblattpaar, welches unter der Gipfelblüthe
Axillarzweige, von denen jeder ein Paar Blätter erzeugt, u
endigt. Im Winkel dieser Blätter stehen wieder gleiche 2 b
u. s. f. Der Stiel der Terminalblüthe wird von 5 Stränge
an seinem Grunde, durch Verschmelzen je zweier in eine
(Fig. 5 und 6, p, o, n). Von den 3 biegen im Knoten 2 zu

nächsten Internodium ein nebenläufiges Paar oder auch einen vereintläufigen Strang bilden, welcher dem dritten Strang diametral gegenüber liegt (Fig. 6 und 7, p, o, n). Die 2 Stränge, welche aus den beiden Vorblättern jedes Astes unter der Gipfelblüthe kommen, gehen durch ihr Internodium, treten dann in den Stengel ein, steigen hier noch durch 2 Glieder hinab (im zweiten sind die einen mit den Strängen des Blüthenstiels vereintläufig), und setzen sich an die Gabeläste der Stränge vom obersten Blattpaar des Stengels an.

Das zweite Internodium vor dem terminalen Blüthenstiel hat daher, wie die vorhergehenden, 8 Stränge, aber von anderer Bedeutung: 4 kreuzweise angeordnete für die 2 obersten Blattpaare (Fig. 6, e, f, g, h), und damit alternirend 4 für die Blätter der Aeste (h, i, l, m). Das Stengelglied dagegen, welches dem Blüthenstiel unmittelbar vorausgeht, zeigt 9 Stränge: 2 opponirte, welche durch ihre Stärke sich auszeichnen, für das oberste Blattpaar (Fig. 6 und 7, g, k), damit ein Kreuz bildend einerseits die 2 paarigen (p, o) anderseits der unpaare (n) für den Blüthenstiel, endlich mit den genannten Strängen alternirend 4 für die Vorblätter der beiden Aeste (h, i, l, m).

In allen folgenden Verzweigungen des Blüthenstandes finden wir ganz ähnliche Verhältnisse, nämlich 5 Stränge im Blüthenstiel, die sich in der Zahl von 3 durch das erste Glied fortsetzen und im Grunde desselben sich anlegen; und 9 Stränge im ersten Glied jedes Sprosses von gleicher Anordnung und gleicher Bedeutung wie im obersten Stengelglied. Der Unterschied im Verlauf der Stränge besteht nur darin, dass die Blattspuren immer nur durch 2 Internodien gehen und dann sich ansetzen, nämlich durch dasjenige des eigenen Sprosses und das des Tragsprosses.

Jeder der 5 Stränge des Blüthenstieles geht in ein Kelchblatt aus. Der Querschnitt dicht unter der Blüthe zeigt 10 Stränge; die 5 neuen, die zwischen die frühern eingeschoben sind, theilen sich nach unten in 2 rechts und links sich anlegende Schenkel und nach oben in 2 Aeste, welche in die benachbarten Kelchblätter eintreten, sich gewöhnlich noch einmal gabeln und ihre seitlichen Nerven darstellen. — An die in den Kelch austretenden Fibrovasalstränge setzen sich später noch mehrere andere an, welche in die höhern Blüthentheile gehen, und eine ziemlich regelmässige Anordnung zeigen. Was die Entstehungsfolge der Stränge betrifft, so kommen nach dem Kelch zuerst diejenigen der centralen Placenta. Wenn die Hauptstränge des Kelches bereits gebildet sind, findet man in der ganzen übrigen Blüthe erst 1 oder 2 in der Placenta. Letztere ist später von sehr zahlreichen Strängen durchzogen, die von unten nach oben wachsen, und von denen jeder in ein Ovulum ausgeht. Wenn diese Bildung schon etwas fortgeschritten und das Gefässnetz in den Kelchblättern fast fertig ist, so beginnt die Gefässbildung in den Blumenblättern, wo sie von unten nach oben fortschreitet, und gewöhnlich noch früher in den Staubgefässen, wo sie am Grund und an der Spitze beginnt und von diesen beiden Endpuncten nach der Mitte hin sich fortbewegt. Die Pollenkörner sind übrigens vollständig entwickelt, ziemlich lange ehe der einfache Fibrovasalstrang in dem Staubgefäss sichtbar wird, welcher, da

der Staubfaden sich in der Mitte an die Anthere ansetzt, in
letztern mangelt. Zuletzt bilden sich die Stränge in den
knotenwandung und in den Griffeln.

Galium (XII, 1 — 3). Rubia.

Bei Galium rubioides Lin. bestehen die scheinbar 4
2 Blättern und 2 Nebenblättern, die erstern mit Axillarknos
serirt und umfassend, die letztern knospenlos und umfasst.
das eine einen geförderten Axillarzweig; es ist das Anfangsb
alterniren nicht vollkommen rechtwinklig, was man schon d
von dem Rückennerv herablaufende Stengelkante nicht gena
schen den 2 untern Blättern trifft, sondern immer näher de
Noch deutlicher sind diese Verhältnisse in der Terminalknos
genau gemessen werden können (Fig. 3). Der Abstand zweier
der Anfangsblätter (a, e, i, n) beträgt 55 bis 75°, statt 90° w
cussation erfordern würde. Die Anfangsblätter (ebenso ihre
b, f, k, o) sind in eine Schraubenlinie geordnet. Die 2 Blät
nen selber nicht diametral gegenüber zu stehen, sondern na
genähert zu sein.

Bei Rubia tinctorum Lin. scheinen ähnliche Stellungsv
pentragenden Blätter in der Terminalknospe vorzukommen,
so deutlich. Dagegen weichen dieselben bei Galium Mollugo
reum Lin. von der rechtwinkligen Decussation kaum ab. —
Organen eines Quirls bei den Rubiaceen überhaupt sind bek
überstehende mit Axillarknospen versehen und als wirklich
ten. Sie sind es, welche unterhalb der Stammspitze zuerst
nirte Höckerchen sichtbar werden. Unmittelbar nachher tauc
neben ihnen neue Warzen auf, und diese Anlegung der Stip
wenn ihrer mehrere vorhanden sind, in gleicher Weise fo
schlossen ist. In der Achsel der beiden Blätter treten schon
anlagen auf; die des Anfangsblattes erscheint vor der and
Entwickelung auch immer einen Vorsprung. Ich bemerk
Wachsthum der Blätter sehr oft ein umgekehrtes Verhältn
Anfangsblatt sich etwas langsamer ausbildet und daher klein

Betrachtet man die Stammspitze von Galium Mollugo v
die beiden obersten Blattanlagen genau den Enden des Dur
chen und mit den beiden Blättern des folgenden Knotens
Kreuz zu bilden. Aber meist schon die Blätter des dritten
lich gerückt, indem sich die eine Hälfte des Knotens stärke
ungleiche Ausbildung wird weiter abwärts noch deutlicher.
an jedem Knoten eine stärkere und eine schwächere Hälfte u
durch die beiden Blätter von einander geschieden werden. Ist
tigen Organe eines Quirls ungerade, so befindet sich die grös

blätter auf der stärkern Hälfte. — Diese ungleichmässige Entwickelung giebt sich namentlich auch in dem Verlauf der Stengelkanten kund. Von jedem Knoten steigen deren 4 abwärts; und 2 davon fallen seitlich von der Blattmediane des untern Knotens, weshalb die Aeste dieses letztern immer neben und nicht vor den Kanten des obern Internodiums stehen.

Die Ungleichhälftigkeit der Knoten schreitet mit der Spirale der Anfangsblätter regelmässig fort, und zwar so, dass die schwächere Hälfte dem Anfangsblatt vorausgeht, die stärkere demselben nachfolgt. Verfolgen wir daher eine Stengelkante von unten nach oben, so finden wir an derselben die Aeste alternirend rechts und links, wobei auf der einen Seite blos stärkere Aeste (im Winkel der Anfangsblätter), auf der andern Seite blos schwächere liegen.

Die Aeste haben ihre ersten Blätter rechts und links, das Anfangsblatt immer dem Anfangsblatt des nächstuntern (unter dem Tragknoten befindlichen) Stengelknotens zugekehrt. Der stärkere Ast ist mit dem Tragspross antidrom, der schwächere homodrom.

An jedem Knoten treten 2 Fibrovasalstränge aus, je einer in ein Blatt. Dieselben gehen durch 2 Stengelglieder innerhalb der Kanten nach unten, und spalten sich dann meistens in 2 Schenkel, welche je einen Strang des zweituntern Blattpaars zwischen sich fassen, und oft noch durch 2 oder 3 Internodien verfolgt werden können. Das 5. bis 7. der gefässführenden Stengelglieder, von oben an gerechnet, zeigt meistens schon einen geschlossenen Fibrovasalring. — Von den beiden Schenkeln eines Stranges ist gewöhnlich der eine, als der später entstandene, der schwächere; und nicht selten unterbleibt die gabelige Theilung gänzlich, so dass dann der obere Strang einseitig neben dem untern vorbeigeht (Fig. 1, e, f, g, h). Ursprünglich sind die Stränge immer einfach, und das Ausbiegen derselben ist nach der verschiedenen Blattstellung verschieden. Bei Galium rubioides biegen die Stränge gleichwendig aus, bei Galium Mollugo dagegen symmetrisch-convergirend (Fig. 1, e und f, g und h, k und i)*).

---

*) Hanstein, dessen Abhandlung über gürtelförmige Gefässstrang-Verbindungen im Stengelknoten dicotyler Gewächse ich erst nach Vollendung des Manuscripts erhielt, sagt, dass bei Asperula cynanchica, ebenso bei den übrigen Rubiaceen die beiden opponirten Blattspuren genau auf die Spuren des zweitniedern Paares treffen und sich daher in je zwei Hälften spalten. Auch bei andern zahlreichen Fällen streng opponirter und decussirter Blattstellung will derselbe den innigsten Zusammenhang zwischen ihr und der Anordnung der Blattspuren gefunden haben. Indessen ist die Methode Hanstein's zur Entscheidung der Frage, wie weit die Anordnung der Blätter und ihrer Spuren im Stengel übereinstimme und wie weit sie abweiche, unzureichend. Er vernachlässigte es, die allerfrühsten Entwicklungszustände und die feinern Stellungsverhältnisse, welche beide einige constante Regeln darbieten, zu studiren, und den Verlauf der Stränge auf längere Strecken wirklich zu verfolgen. Auf die Polemik Hanstein's einzutreten, kann ich um so eher unterlassen, als derselbe offenbar von meiner Ansicht nicht die richtige Kenntniss hatte, und ich zur Beweisführung, wie ich glaube, bereits genug Thatsachen angeführt habe.

Ich habe der bogen- und gürtelförmigen Verbindungen zwischen den Blattspursträngen bei ihrem Austreten aus dem Stengel häufig nicht erwähnt, weil ich sie als zur Blattbasis gehörig betrachte, und weil sich die gegenwärtigen Mittheilungen auf den Verlauf der Stränge im

Aus dem Ast treten zuerst 2 Stränge, die dem ersten Blattpaar angehören, in den Stengel ein. Dieselben legen sich meistens sogleich an den Strang des Tragblattes an (Fig. 1, a, b, c, d), seltener gehen sie getrennt neben demselben nach unten. Die Stränge des zweiten Blattpaars verhalten sich in gleicher Weise.

16. Blätter quirlständig. Spuren 1strängig.

Trevirania longiflora Reg. Var. ilicifolia.

Die Blattquirle sind 2, 3 oder 4zählig, und alterniren mit einander; seltener sind sie in eine Spirale aufgelöst. Schon die jüngsten Zustände in der Terminalknospe zeigen die quirlförmige Stellung der Blätter; aber die Elemente eines Kreises sind häufig etwas ungleich gross, und scheinen dadurch eine spiralige Folge anzudeuten.

Der Strang eines Blattes geht durch 2 Internodien nach unten, und biegt am zweiten Knoten neben der entsprechenden Blattspur aus. Die Stränge, die von dem nämlichen Quirl herkommen, sind ebenfalls von ungleicher Stärke, und auch dieses Verhalten, sowie die Art ihres Ausbiegens scheint auf eine spiralige Anordnung hinzuweisen. Uebrigens nehmen sie sehr rasch an Breite zu, so dass sie bald nicht mehr von einander unterschieden werden können. Zuweilen ist ein Strang in mehrere Massen getheilt.

Russelia juncea Zuccar. (XIV, 6—8).

An allen Sprossen beginnt die Blattbildung mit opponirter Anordnung. Bei den schmächtigern Quirlzweigen bleibt sie opponirt, oder geht in die gedreite Stellung über. Bei den stärkern Trieben schreitet sie rasch zu 4 und 5zähligen Quirlen fort. Wenn gleichzählige Quirle auf einander folgen, so alterniren sie

---

Stengel beschränken. Da diese Sache von Hanstein angeregt wurde, so bemerke ich hier gelegentlich, dass die bogenförmigen Verbindungen zwischen den Spursträngen auch bei einzelstehenden Blättern der Dicotyledonen eine nicht seltene Erscheinung sind.

Das Verhalten von Galium giebt Hanstein Veranlassung, ein neues Merkmal für die Unterscheidung von Blatt und Stipula aufzustellen; er meint, die Vermuthung, dass der Quirl der Rubiaceen durch Nebenblätter gebildet werde, erhalte ihre sichere Begründung in der Thatsache, dass dieselben keine Gefässstränge aus dem Stengel beziehen; denn nur dasjenige sei als eigentliches und selbständiges Blattorgan anzusehen, was aus dem Stengelinnern einen eigenen Gefässstrang erhalte. Dieser Theorie stehen aber 2 Facta entgegen: 1) dass es in Quirlen einzelne Blätter giebt, welche keine eigenen Spuren im Stengel haben (Hippuris), 2) dass es Stipulae giebt, deren Stränge wirklich wie Blattspurstränge in den Stengel gehn; das ist z. B. bei Humulus, Viola, Passiflora, Platanus, Lathyrus Aphaca der Fall. Die gürtelförmigen Verbindungen, aus denen Hanstein die Stipularstränge entstehen lässt, sind, wie die Entwickelungsgeschichte zeigt, wenigstens bei diesen Pflanzen eine secundäre Bildung. Wenn ich nicht sehr irre, so kommt diese Erscheinung aber auch noch bei mehreren andern sich frühzeitig und stark entwickelnden Nebenblättern vor.

regelmässig, so dass die Elemente des 2. senkrecht über denen des Ausgangsquirls stehen.

Von jedem Blatt geht eine Rippe nach unten; zwischen je zweien befindet sich eine Furche. Sind die Quirle gleichzählig, so treffen immer die Furchen des einen Internodiums auf die Kanten des nächstobern und nächstuntern. Folgt aber auf einen minderzähligen ein mehrzähliger oberer Quirl, so trifft auf jedes untere Blatt ebenfalls immer eine Furche des obern Gliedes; auf die einen Furchen des untern kommt je eine Rippe des obern, auf die anderen aber (1 oder 2, je nach der Zunahme der Quirlelemente) treffen je 2 Rippen mit der zwischenliegenden Furche. Dem entsprechend finden wir auch, dass ungleichzählige successive Quirle nicht gleich grosse Abstände zwischen ihren eigenen Elementen zeigen.

Die Vorblätter an den Aesten und Zweigen stehen rechts und links. Sie sind meistens nicht diametral gegenüber, sondern nach der Seite des Tragblattes etwas genähert. Folgt auf die beiden Vorblätter ein 3zähliger Quirl, so steht ohne Ausnahme ein Blatt desselben median nach vorn, 2 nach hinten (dem Stengel zugekehrt). An den schmächtigen Quirlzweigen sind die letztern beiden einander mehr genähert, an den dickern Aesten aber weiter von einander entfernt, als es die Anordnung zu einem gleichschenkligen Dreieck erfordern würde. Wenn der nächste Quirl wieder 3zählig ist, so alternirt er mit dem vorhergehenden, und wenn dann ein 4zähliger folgt, so treffen 2 Blätter auf den vordern (dem Tragblatte zugekehrten) Zwischenraum. Kommt nach einem so gestellten 4zähligen ein 5zähliger Quirl, so fallen 2 Blätter auf den hintern Zwischenraum des vorhergehenden. In gleicher Weise giebt es auch für die andern Successionen von ungleichzähligen Quirlen, namentlich am Grunde eines Sprosses, constante und regelmässige Verhältnisse. Ich erwähne derselben blos, um zu zeigen, dass sich die Stellung der Blätter sehr genau ermitteln, und der Verlauf der Spurstränge damit vergleichen lässt.

Nicht selten kommen Nebenzweige vor, welche in der Medianlinie des Blattes und seines Axillarzweiges liegen. In Folge dessen finden sich in einem Blattwinkel zwei hinter einander liegende Zweige, von denen der äussere häufig kleiner, zuweilen aber auch grösser ist.

Die Quirlzweige zeigen gewöhnlich schwächere oder stärkere Drehung, die jedoch die Stellungsverhältnisse ihrer Blätter nicht beeinträchtigt, da dieselben durch den Verlauf der Kanten und Furchen deutlich sind. In der Regel ist die eine Hälfte der Zweige eines Quirls rechts-, die andere links-gedreht; und eine senkrechte Ebene scheidet die homodromen und die antidromen Zweige eines Sprosses. Diese Ebene trifft mit der Krümmungsebene des nach der Lichtseite herabhängenden Astes zusammen. In den von mir untersuchten Fällen zeigten die Zweige, wenn sie in ihrer natürlichen hängenden Lage von der Lichtseite betrachtet wurden, an der rechten Hälfte des Astes Linksdrehung, an der linken aber Rechtsdrehung.

Der Fibrovasalstrang, welcher in ein Blatt ausgeht, spaltet sich, indem er durch 2 Internodien herabsteigt, höher oder tiefer in zwei Schenkel, welche den

Strang des senkrecht untern Blattes zwischen sich fassen, noch durch 1 oder 2 Stengelglieder hinziehen, und sich an andere Stränge ansetzen, oder sich in dem Fibrovasalring verlieren (Fig. 8). In den jüngsten Zuständen kann ein Strang nur sehr selten durch 5 oder sogar 6 Internodien verfolgt werden. Das 5. bis 8. gefässführende Stengelglied (von oben gerechnet) zeigt einen mehr oder weniger vollständig geschlossenen Fibrovasalring.

Die gabelige Theilung der Stränge ist auch hier eine secundäre Erscheinung. Ursprünglich ist die Blattspur immer einfach. Sie bleibt es oft ziemlich lange (Fig. 6), und zeigt dann zuletzt zwei Schenkel von ungleicher Stärke. Zuweilen tritt die Spaltung selbst gar nicht ein. Wenn gleichzählige Quirle auf einander folgen und die Anordnung der Blätter in senkrechte Zeilen möglichst regelmässig ist, so biegen die Stränge des nämlichen Quirls am zweituntern Knoten heterodrom aus (Fig. 8, v, x, y, z), gewöhnlich die der einen Hälfte nach rechts, die der andern nach links. Die auf einander folgenden Quirle zeigen ein übereinstimmendes Verhalten, so dass es für den ganzen Zweig eine senkrechte Ebene giebt, welche die rechts und links ausbiegenden Spurstränge scheidet. Die derselben zunächst liegenden Stränge verhalten sich am wenigsten constant. Ob diese Ebene mit derjenigen, welche die rechts und links gedrehten Zweige trennt, zusammenfällt, weiss ich nicht. — Bei gleichzähligen Quirlen findet man daher immer wenigstens einen Zwischenraum zwischen den Spursträngen eines Knotens leer, während in einem andern 2 Stränge vom zweitobern Quirl liegen. Es ist diess wieder ein deutlicher Fall, wo die Anordnung der Spurstränge und diejenige der Blätter nicht übereinstimmen.

Wenn ungleichzählige Quirle auf einander folgen, und somit die Blätter des dritten nicht vertical über denen des ersten stehen, so ist dadurch meistens die Art des Ausbiegens der Spurstränge gegeben, indem dieselben wo möglich einen der senkrechten Richtung nahe kommenden Lauf anzunehmen bestrebt sind. Indessen giebt es selbst von dieser Regel Ausnahmen, und es kommt vor, dass ein Spurstrang statt bei einem seitlich abliegenden untern Strang vertical vorbeizugehen, über denselben hinweggreifend, ausbiegt; wodurch eine noch auffallendere Verschiedenheit zwischen Blattstellung und Stranganordnung hervorgebracht wird. Diess ist z. B. in Fig. 6 der Fall, wo die Blätter d und e näher beisammen standen als i und k; dennoch convergiren die Stränge i und k und kommen zwischen d und e zu liegen.

Aus dem Axillarzweig treten zunächst 2 Stränge (die der Vorblätter) in den Hauptspross ein, welche meistens schon im obersten Theil des Internodiums sich an den Spurstrang des Tragblattes ansetzen (Fig. 6, e, c). Zuweilen kann man den einen oder den andern noch weiter, selbst mehr als ein Stengelglied herablaufen sehen.

17. Blätter gegenständig. Spuren 3 oder 4strängig, mit denen des erstuntern Paars vom zweituntern Knoten an vereintläufig (nicht verschränkt).

Antirrhinum majus Lin. (XIII, 1—3).

Keimpflänzchen. Auf die Cotyledonen folgen rechtwinklig sich kreuzende Blattpaare, die schon in der Knospe diese regelmässige Stellung zeigen. — Die beiden Stränge eines Samenlappens (Fig. 1, I, II) weichen im Stengelchen aus einander, und vereinigen sich paarweise mit denen des andern (III, IV). Die 3 Stränge eines Primordialblattes (ABC, DEF) gehen durch ihr Internodium hinab, und treten in die Gabel der Cotyledonarstränge ein, mit denen sie verschmelzen. Alle folgenden Blätter erhalten ebenfalls 3 Stränge (GHI, KLM, NOP, QRS etc.), welche nach oben am Grunde des Blattstieles sich vereinigen, nach unten aber getrennt durch 2 Internodien hinabsteigen, und sich im zweiten Knoten rechts und links an die Lateralstränge des nächstuntern Paares ansetzen. Die beiden Medianstränge eines Blattpaars gehen immer eigenläufig den ganzen Weg, und biegen dann symmetrisch-convergirend aus (K und G, N und Q, T und X, a und d, g und k, n und q, t und x). Sie setzen sich daher an die beiden Seitenstränge des gleichen Blattes an (z. B. t und x an o und p).

Das Ausbiegen der Medianstränge aller in eine senkrechte Zeile gestellten Blattspuren findet abwechselnd nach beiden Seiten statt. Wenn diejenigen der über einander stehenden Blätter vom 1., 5., 9. Paar rechts abweichen (X und x), so wenden sich die vom 3., 7., 11. links (G und g). Eben so sind die Medianstränge der über einander stehenden Blätter vom 2., 6., 10. Knoten homodrom und mit denen vom 4., 8., 12. antidrom. An der Ausbiegungsstelle kann sich später ein zweiter Schenkel bilden, der sich nach der entgegengesetzten Seite hin wendet.

Die Lateralstränge sind immer durch ein Internodium eigenläufig und von da an mit der Spur eines Blattes vom nächstobern Paar vereintläufig. — Der Querschnitt durch ein Stengelglied unter der Terminalknospe zeigt oft eine sehr regelmässige Anordnung von 12 Strängen. Zwei gegenüberstehende Gruppen von je 3 stärkern Strängen gehören dem eigenen Blattpaar, 2 damit alternirende ebenfalls 3zählige, aber schwächere Gruppen dem nächsten Blattpaar an (Fig. 2).

Ein Keimpflänzchen (Fig. 3) bildete 3 Cotyledonen, damit alternirend einen 3zähligen Quirl von Blättern, dann noch einmal gedreite Blätter in senkrechter Lage über den Cotyledonen, und später fortwährend gepaarte Blätter. Die Cotyledonarstränge (a, b, c) vereinigten sich nach unten zunächst zu 3 mit den Samenlappen alternirenden Strängen. Die Blattspuren der Primordialblätter waren 1strängig (d, e, f), und setzten sich in den Gabeln der Cotyledonarstränge an. Von den Spuren des zweiten 3zähligen Quirls war die erste 2strängig (h), indem sich der eine Lateralstrang nicht losgetrennt hatte, die zweite (i) unvollständig-, und nur die dritte (g) vollständig-3strängig. Jede vereinigte sich im zweiten Internodium in einen Strang, welcher, über den Cotyledonen anlangend, sich gabelig spaltete, um deren Spuren zwischen sich zu fassen. — Die Blätter des ersten Paars waren nicht diametral gegenüber, sondern etwas genähert, in der Weise, dass die 3 Stränge eines jeden Blattes (k und l) in den unter ihnen befindlichen Zwischenraum zwischen 2 Spuren eintraten, und sich daselbst je zu einem Strang vereinigten; der eine davon spaltete sich abwärts ebenfalls gabelig. Auch die Stränge des zweiten Paars (m und n) verhielten sich noch in der angegebenen Weise. Erst die des dritten und der folgenden Blattpaare zeigten den normalen Verlauf. — Die abweichende Anordnung der Spuren bei diesem Pflänzchen zeichnet sich dadurch aus, dass ihre Stränge mehr verschmolzen sind. Es hängt diess offenbar mit der gedrängtern Stellung der Blätter, und mit der geringern Weite der Spuren selber zusammen, so sehr, dass dadurch selbst der Grad der Vereinigung bedingt wird.

Aus der Axillarknospe treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche sich oben im Internodium an die beiden lateralen Spurstränge des Tragblattes anlegen.

Ruellia maculata Wall.

Laubzweige. In jedes Blatt treten 3 genäherte Stränge ein, welche sich im Blattstiel bald zu einem einzigen vereinigen. Sie gehen nebenläufig durch 2 Internodien. Der mittlere spaltet sich in 2 aus einander weichende Schenkel, welche mit den lateralen Strängen verschmelzen. Die Blattspur ist somit 2strängig geworden; sie fasst spreizend die Spur des senkrecht-untern Blattes zwischen sich. — Von den 3 Strängen einer Spur wird der mittlere zuerst angelegt. In dem jüngsten Stadium, wenn er erst ein oder zwei Gefässe enthält, ist er noch einfach, und biegt mit dem andern Medianstrang des gleichen Blattpaars symmetrisch-convergirend aus.

Aus jeder Axillarknospe treten zuerst 2 Stränge in den Stengel ein, welche meistens, rechts und links von der Spur des Tragblattes, noch durch ein Internodium verfolgt werden können.

Goldfussia glomerata Nees. scheint sich gleich zu verhalten wie die eben genannte Pflanze.

Bignonia serratifolia Vahl. (*XII*, 7, 8).

Laubsprosse. Die successiven Blattpaare alterniren nicht rechtwinklig; sondern es findet immer eine geringe Abweichung und zwar am nämlichen Spross nach der gleichen Richtung hin statt, so dass alle Blätter in 4 schiefen Zeilen stehen, welche rechts- oder linkswendige Spiralen darstellen. Auch die beiden Blätter des gleichen Paars sind häufig nicht genau diametral gegenüber. Diese Stellungsverhältnisse lassen sich an der Stammspitze am deutlichsten erkennen.

In jedes Blatt geht eine Fibrovasalmasse, welche in der Basis des Blattstiels als ein nach dem Stengel geöffneter Ring oder Kreis von Strängen erscheint (Fig. 7, c, f). Im Stengelknoten bildet diese Masse meist 3 deutlich geschiedene Stränge, löst sich aber häufig im Verlauf durch das erste Internodium in eine Reihe von Strängen auf, oder schmilzt auch zu einem einzigen breiten Strang zusammen. Diese 1- oder mehrsträngige Fibrovasalmasse theilt sich schon im obern Theil des zweiten Internodiums in 2 Massen (Fig. 8, e, f), wobei der Medianstrang selber, wenn ein solcher unterscheidbar ist, sich spaltet. Die beiden Massen weichen nach unten aus einander, und fassen die ganze Spur des untern Blattes zwischen sich. Oben im dritten Stengelglied liegen sie dann in dem ziemlich engen Raum zwischen der genannten (zweituntern) und der sich bereits spaltenden erstuntern Spur, mit welcher sie in der Mitte des Internodiums oder etwas tiefer verschmelzen.

Von der ganzen Blattspur bildet sich zuerst das mediane Gefäss, welches, entsprechend der Blattstellung, mit demjenigen des andern Blattes vom gleichen Paar am zweituntern Knoten gleichwendig ausbiegt (Fig. 7, i, k). — Im 5. gefässführenden Glied unter der Stengelspitze ist der Fibrovasalring geschlossen.

Tecoma radicans Juss. (*XII*, 6).

Laubsprosse. Die Blätter eines Paars stehen in der Terminalknospe ziemlich genau diametral, und die Blattpaare scheinen rechtwinklig zu alterniren. Wenn die Blattspuren eines Paares erst aus einem einzigen Gefäss bestehen, so biegen sie neben den Spuren des zweituntern Knotens bald gleichwendig, bald symmetrisch-convergirend (Fig. 6, i und k) aus. Beides wurde je zweimal gesehen. Sie verlaufen schon von der Blattbasis aus schief nach unten. Bald darauf bildet sich ein zweites Gefäss, welches nach der entgegengesetzten Seite schief abwärts geht (g und h). Man hat nun einen zweischenkeligen Medianstrang, oder vielmehr, da die Trennung bereits an der Ursprungsstelle beginnt, 2 Stränge. Nachher tritt jederseits noch einer auf, so dass die Blattspur jetzt 4strängig ist (e, f, d); im untern Theil des erstuntern Internodiums (f), zuweilen auch schon höher (e), wird sie, durch Verschmelzung je eines mittlern und seitlichen Stranges, 2strängig, fasst die senkrecht untere Blattspur (a und b) zwischen sich, und vereinigt sich meist in der untern Hälfte des zweiten Gliedes mit der Spur des erstuntern Paars.

Die 4 Stränge sind nur in den frühsten Stadien deutlich. Durch Verbreiterung derselben und durch Zwischenlagerung von Verbindungssträngen tritt bald eine mehr oder weniger vollständige Verschmelzung ein (c, a, b). — Im Knoten vereinigen sich die 4 Stränge einer Blattspur zu 3 (f) und gehen dann im Grunde des Blattstieles wieder in 5 aus einander.

18. Blätter gegenständig. Spuren 2strängig, nicht verschränkt.

Stachys angustifolia Biebrst. (XV, 3—5).

Laubsprosse. Die Blätter sind auch in der Terminalknospe diametral gegenüber, und die Blattpaare rechtwinklig-alternirend. Die Seiten des vierkantigen Stengels entsprechen den Blättern, die Kanten ihren Rändern. — 2 Stränge, die im Blattstiel zu einem einzigen sich vereinigen, weichen im Stengel sogleich aus einander, und gehen innerhalb der Kanten, welche rechts und links von dem Blatte liegen, durch 2 Internodien hinab (Fig. 5, a, b, c, d, e, f, g, h). Die Blattspur nimmt beinahe den 4. Theil des Umfanges ein. Am zweituntern Knoten vereinigen sich ihre Stränge mit denjenigen der erstuntern Spur, nachdem sie durch ein Internodium unmittelbar neben denselben hingezogen sind. Der Querschnitt unter der Stammspitze zeigt daher immer 8 Stränge, die paarweise genähert unter den Ecken liegen (Fig. 3). Die beiden, welche zusammen ein Paar bilden, sind ungleich stark; der stärkere gehört dem nächsten (d, c), der schwächere dem folgenden Blattpaar (e, f) an.

Bald vereinigen sich die beiden Stränge eines Paars, indem zwischen denselben Gefässe auftreten. Der Querschnitt zeigt nunmehr 4 Stränge; später vereinigen sich auch diese zu einem geschlossenen Fibrovasalring. Dieser Prozess geschieht zuweilen regelmässig in der Art, dass mitten an der Seite ein Gefäss oder ein kleiner Strang sichtbar wird, und dass dann zwischen demselben und den Ecken wieder je ein Gefäss auftritt. In andern Fällen entstehen die zwischenliegenden Gefässpartien in unregelmässiger Folge. — Wie die Fibrovasalbildung verhält sich auch die des Cambiums. Zuerst ist dasselbe nur in den Ecken, nachher stellenweise auch an den Seiten sichtbar, und zuletzt ist ein vollständiger Cambiumring vorhanden.

Satureia variegata Host.

Laubsprosse. Die Anordnung der Stränge verhält sich wie bei Stachys, nur mit der Ausnahme, dass die Spuren durch 3 Internodien hinabgehen, bis sie sich am drittuntern Knoten an diejenigen des erstuntern Paares ansetzen. Dessnahen sieht man auf dem Querschnitt unterhalb der Stengelspitze zuweilen 12 Stränge, welche je zu 3 etwas genähert sind. Von einer solchen Gruppe gehört der eine seitliche dem nächsten, der andere seitliche dem zweitnächsten und der mittlere dem drittnächsten Blattpaar an. — Der Fibrovasalring bildet sich auch hier dadurch, dass zuerst die Stränge in den Ecken sich vereinigen, und dass dann ebenfalls an den Seiten Gefässe erscheinen.

Aus der Axillarknospe treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche sich im obersten Theile des Internodiums bald an die Stränge des Tragblattes, bald an diejenigen, die vom 2. obern Paar kommen, ansetzen.

Anagallis arvensis Lin. (XIII, 4—7).

Laubsprosse. An dem entwickelten Spross sind die Blätter opponirt, oder in 3-, seltner 4 zähligen Quirlen. Paare und Quirle alterniren ziemlich regelmässig. — In der Terminalknospe stehen die Blattanlagen oft genau spiralig. Oft auch zeigen sie eine zwischen der Spiral- und Quirlstellung mittlere Anordnung, was die Abstände betrifft, während ihre Grösse wie in einer ununterbrochenen Schraube stetig zunimmt. Ich fand die Divergenzen in einigen Terminalknospen im Mittel zu 144°, in einigen andern betrugen sie blos 140°. — Verfolgt man die Entwicklung von dem Knospenzustande an, so ist die Verwandlung der Spiral- in die Quirlstellung überaus deutlich. Sie geschieht dadurch, dass erstens einzelne Internodien sich in die Länge strecken, während die übrigen verkürzt bleiben, und dass zweitens die Horizontalabstände zwischen den beisammen bleibenden Blättern sich ausgleichen. Indess ist die ursprüngliche Spiralstellung auch im ausgebildeten Zustande immer noch durch die Deckung der Quirlblätter und durch ihre ungleich hohe Insertion (welche man bei der microscopischen Untersuchung von successiven Querschnitten deutlich wahrnimmt) erkennbar.

Die Stengeltheile mit opponirten Blättern sind 4 kantig, wobei die Kanten sich ziemlich regelmässig von Glied zu Glied fortsetzen. Bei gedreiten Blättern sind die Internodien 6- oder 5 kantig. Im erstern Fall wechseln breitere flache mit schmälern rinnenförmigen Seiten (Fig. 4). Im zweiten mangelt die rinnenförmige Seite zwischen dem ersten und dritten Blatt des Quirls (Fig. 6, 7); sie fand keinen Raum, sich auszubilden.

Jedes Blatt hat eine 2 strängige Spur (Fig. 5, ab, cd; 6, ab, cd, ef). Die beiden Stränge neigen sich beim Eintritt in die Blattbasis zusammen, und vereinigen sich zum Mittelnerven, indem sie sogleich rechts und links Zweige abgeben. Nach unten weichen die Spurstränge aus einander; bei opponirter Blattstellung gehen sie innerhalb der Stengelkanten durch 2 Internodien abwärts. Man findet daher auf dem Querschnitt unter der Terminalknospe 8 Stränge paarweise genähert wie bei Stachys (Fig. 5).

Bei 3 zähligen Quirlen und 6 kantigen Internodien beobachtet man zuweilen einen ähnlichen Verlauf und 6 Strangpaare auf dem Querschnitt, die später durch Vereinigung zu 6 Strängen werden (Fig. 4). Da indess eine Stengelseite gewöhnlich mehr oder weniger verkümmert ist, und die Internodien 5 kantig sind, so treten 2 Paare zusammen, und bilden durch Vereinigung 3 Stränge (Fig. 6, l, ma, b), von denen einerseits die beiden seitlichen (l, b), anderseits der mittlere (ma), je dem nächsten und zweitnächsten Quirl angehören. Statt 12, hat man somit 11 Stränge (Fig. 6). Bald verschmelzen jedoch die genäherten Stränge mit einander, so dass der Querschnitt schon nahe unter der Stammspitze in dem 5 kantigen Internodium blos 5 Stränge zeigt, je einen innerhalb einer Ecke (Fig. 7). Von diesen 5 Strängen zweigen sich 6 (ab, cd, ef) in den 3 zähligen Blattquirl ab, indem derjenige zwischen dem Anfangs- und Endblatt (bf) 2 Aeste abgiebt. — Auch

in den 4 kantigen Stengelinternodien tritt die Verei
gen frühe ein, wiewohl im Ganzen etwas später als

Ich bemerke blos noch, dass die Verschm
Querschnitt nicht vollkommen gleichzeitig sind, u
deutlich eine Beziehung zur Spiralstellung und zu
gleichen Abständen beobachtet wird, — sowie fer
Spiralstellung auf die Anordnung und die Vereini
lich auch dort sichtbar wird, wo die eine Quirlste
z. B. die opponirte in die gedreite. — In dem a
die Fibrovasalstränge immer noch getrennt, indem j
liegt.

Aus dem axillären Blüthenstiel, dessen Basis
ist, treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche si
einander weichenden Spurstränge des Tragblattes a

19. Blätter gegenständig. Spuren 3strän
mit denen des nächsten Paares

Ich vereinige hier mehrere Typen, die in d
Merkmalen übereinstimmen, sich aber namentlich d
lauf der Spuren unterscheiden. Die Medianstränge s
bald im zweituntern Knoten, bald noch tiefer an. D
falls durch 1, 2 oder mehrere Stengelglieder.

Clematis Viticella Lin. und C. Vitalba L

Laubtriebe. Die Blätter sind auch in der Term
und die Blattpaare rechtwinklig-alternirend. Die 6
denen 2 gegenüber liegende etwas stärker vortreter
sprechen, wechseln regelmässig ab. — Die 3 sträng
def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz) hat ungefähr eine V

Der Medianstrang geht durch ein Stengelg
Knoten in zwei Schenkel, und setzt sich an die Lat
paares an (Fig. 1, g, k, n, q; Fig. 2, g, k, n, q, t, x;
lich ist immer nur ein Schenkel vorhanden, und d
nämlichen Paares biegen (nach 2 Beobachtungen) s
(Fig. 1, n, t; 2, *α*, *β*). Die Bildung des zweiten S
zuweilen erst ziemlich später ein, oder kann auch s

Die beiden Lateralstränge eines Blattes verla
nodium, biegen am nächsten Knoten convergirend a
lichen Lateralstränge des letztern an, mit denen s
strangs vereinigen (Fig. 1, h, i, l, m, o, p, r, s; 2, h

Bei Clematis Viticella ist damit die Spur eines Blattes gewöhnlich fertig; bei C. Vitalba bildet sich meistens auch an der Ausbiegungsstelle der Lateralstränge ein zweiter Schenkel, welcher nach der entgegengesetzten Seite ausbiegt und mit einem Medianstrang jenes Knotens verschmilzt (Fig. 3, h, i, l, m, o, p, r, s).

Der Querschnitt durch das Stengelinternodium zeigt daher 6 Stränge, welche die Spur des nächsten Blattpaares darstellen, und von denen 2 gegenüberliegende deren Medianstränge, die übrigen aber Lateralstränge sind (Fig. 4). Auch in weiter entwickelten Zweigen finden sich zuweilen nicht mehr als die 6 genannten Stränge, je 1 innerhalb einer Kante. Häufig aber treten, alternirend mit denselben, kleinere Stränge auf, deren Ursprung nicht weiter verfolgt wurde.

Die Axillaräste haben auch in ihrem Basilarinternodium 6 Stränge, die sich beim Eintritt in den Stengel in 2 vereinigen (Fig. 5, rr und ss). Diese 2 setzen sich sogleich rechts und links an den Medianstrang des Tragblattes an (an a und d).

Das Stengelglied, welches dem terminalen Blüthenstiel vorausgeht, zeigt häufig nur 5 Stränge, indem von den 6 Strängen des obersten Blattpaares 2 seitliche sich sogleich mit einander vereinigen. Diese Anordnung möchte wohl darauf hindeuten, dass die beiden obersten Blätter nicht diametral gegenüber stehen. — Von den 4 Kelchblättern erhalten zuerst diejenigen je einen Strang, welche mit dem vorausgehenden Blattpaar alterniren. Später hat der Blüthenstiel 6 Stränge.

Urtica Dodartii Lin. (*XV*, 1, 2).

Keimpflänzchen. Die 2strängige Spur eines jeden Samenlappens wird durch Verschmelzen im Cauliculus bald 1strängig. — Die 3 Stränge, die in jedes der Primordial- oder ersten Laubblätter gehen (Fig. 1, abc, def), steigen mit einer Spurweite von 115—120° durch ihr Internodium in das Stengelchen hinab, wo sie convergiren und in einen Strang verschmelzen. Der Querschnitt unter den Cotyledonen zeigt daher 4 Stränge, von denen jeder die vereintläufige Spur eines Blattes darstellt: 2 gegenüberstehende, die der Samenlappen (Fig. 1, A, B), und die beiden andern die der Primordialblätter (C, D). Statt des einfachen Stranges der letztern sieht man etwas höher 3 genäherte Stränge.

Die Spur des zweiten Laubblattpaares (des ersten über den Primordialblättern) steigt durch 2 Internodien herab (Fig. 1, ghi, klm); im ersten beträgt ihre Weite etwa 115°, im zweiten 145—155°. Der Medianstrang (g, k) spaltet sich über dem Cotyledonarknoten in 2 Schenkel, die mit den Lateralsträngen der Primordialblätter sich vereinigen. Die Lateralstränge (hi, lm) gehen ebenfalls durch 2 Glieder; sie liegen im zweiten dicht neben dem Medianstrang der Primordialblätter, mit welchem sie über dem Cotyledonarknoten verschmelzen. Der Querschnitt durch das Glied über den Samenlappen zeigt 4 Gruppen von je 3 Strängen. Zwei gegenüberliegende Gruppen mit weiter entfernten Strängen werden durch den medianen des zweiten Laubblattpaars und die lateralen des ersten gebildet (Fig. 1, fgb, cke); die 2 andern mit mehr genäherten Strängen bestehen aus dem medianen des ersten und den lateralen des zweiten Laubblattpaars (ial, mdh). Im

Grunde des Gliedes befinden sich, in Folge Verschm
4 Stränge.

Die Spuren aller folgenden Paare (Fig. 1, nop, q
wie diejenigen des zweiten. Im eigenen Internodium
115—120°, im erstuntern von 150—155°. Der Me
theilt sich im zweituntern Knoten in 2 Schenkel, die si
lateralen des erstuntern Paars anlegen. Die seitlichen S
einigen sich in dem nämlichen Knoten mit den Med
Paars. Die 3zähligen Stranggruppen, deren jedes Sten
verwandeln sich durch Vereinigung in ebenso viele St

Aus der Axillarknospe der Cotyledonen treten
ein, welche sich sogleich rechts und links an die Spu
ansetzen (Fig. 1, A′, B′). Auch aus den Axillarkno
kommen je 2 Stränge, welche sich an die Lateralstr
anlegen (Fig. 1, a′, d′, g′, k′).

*Lonicera Spec.**) *(XV*, 6, 7

Laubsprosse. Die Blätter sind auch in der Term
tral-gegenüber, und die Blattpaare rechtwinklig-alter
einer Spur (Fig. 6, a, d, g, k, n, q, t, x) geht durch 2 In
am zweiten Knoten in 2 Schenkel, die sich sogleich
nächstuntern Spur ansetzen. Anfänglich mangelt der
biegen die Medianstränge gleichwendig aus (α, β). —
einer Blattspur (Fig. 6, bc, ef, hi, lm, op, rs, uv, yz) geh
2 Internodien, indem sie sich am erstuntern Knoten m
selben verschränken; am zweiten Knoten, wo sie auf
untern Blattes treffen, biegen sie divergirend aus, u
Stengelglied neben denselben abwärts, um sich am dri
gen (gemeinsam mit einem Schenkel des Medianstrang

Bei vollkommen regelmässigem Verlauf sieht ma
der Terminalknospe 16 Stränge, unter denen die 6 s
am nächsten Knoten, 6 damit alternirende etwas schw
nächsten, und 4 noch schwächere (uv, yz), die paarw
des ersten Blattpaares liegen und den Medianstrang
haben, am drittnächsten Knoten austreten. — Später
spuren zu einem Holzring.

Acer Pseudoplatanus Lin. (XVI,

Laubsprosse. Auch in der Terminalknospe sind
nirt, und alterniren die Blattpaare rechtwinklig.
(Fig. 7, abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz) geht de

---

*) Lonicera atrosanguinea Hort. im botanischen Garten

gerade durch 2 Stengelglieder und spaltet sich in 2 Schenkel, welche neben dem Medianstrang des zweituntern Paares noch durch 2 Internodien verfolgt werden können. Die Lateralstränge einer Spur (hi, ml, op, rs) verschränken sich mit denen des erstuntern Knotens, und biegen am zweiten Knoten über der Spur des senkrecht-untern Blattes bald divergirend, bald auch convergirend aus, worauf sie noch wenigstens durch ein Internodium getrennt herablaufen.

Der Querschnitt durch das 4. oder 5. gefässführende Stengelglied (von der Spitze an gezählt) zeigt bereits 20 bis 26 Stränge (Fig. 6), welche im folgenden Internodium sich schon zu einem Ring zu vereinigen anfangen.

Philadelphus coronarius Lin.

Laubsprosse. Die spätere Blattstellung findet sich ziemlich unverändert in der Terminalknospe. Die Medianstränge setzen sich im zweiten Knoten an. Dasselbe geschieht auch mit den Lateralsträngen. Daher sieht man auf Querschnitten unterhalb der Terminalknospe ziemlich regelmässig 12 Stränge, 6 stärkere für das nächste Blattpaar, und 6 damit alternirende schwächere für das zweitnächste Paar.

Tagetes lucida Cav.

Laubsprosse. In der Terminalknospe sind die beiden Blätter eines Paars einseitig-genähert, und die Paare alterniren nicht rechtwinklig. An der entwickelten Pflanze dagegen ist die decussirte Stellung ziemlich regelmässig. — Die Weite der 3strängigen Spur beträgt ziemlich genau 120°. Die beiden Medianstränge eines Blattpaars biegen am zweiten Knoten gleichwendig aus, und gehen noch durch 1 oder 2 Internodien weiter, ehe sie sich anlegen. Selten bildet sich an der Ausbiegungsstelle ein zweiter Schenkel, welcher in gleicher Weise hinabsteigt. Die Lateralstränge verschränken sich mit denen des nächstuntern Knotens, und gehen ebenfalls durch 3 oder 4 Internodien, bis sie sich ansetzen.

Die Vereinigungen der mittlern und der seitlichen Spurstränge finden ziemlich unregelmässig und bald im Knoten bald im Internodium statt. Der Querschnitt des 6kantigen Stengels zeigt meistens 20 oder 21 Stränge, von denen 6 stärkere den Ecken entsprechen und für das nächste Blattpaar bestimmt sind. Zwischen dem medianen und einem lateralen Strang befinden sich 2 oder 3 schwächere. In den beiden Zwischenräumen zwischen der einen und andern Blattspur liegt gewöhnlich ein stärkerer und ein schwächerer Strang. Der erstere ist der mediane für ein Blatt des zweitnächsten Paars; er liegt im nämlichen Spross constant auf der nämlichen Seite des schwächern.

Tagetes signata Bartl. (*XVII*, 1, 2).

Laubsprosse. Die decussirte Stellung ist in der Terminalknospe deutlicher als bei der vorhergehenden Art. Die Anordnung der Stränge ist in Folge dessen etwas regelmässiger (Fig. 1). Die Medianstränge eines Blattpaars biegen am zweituntern Knoten gewöhnlich symmetrisch-convergirend aus (Fig. 1, nq, tx), und werden meistens durch Bildung eines zweiten Schenkels bald gabelig. Die beiden Schenkel setzen sich in der Regel sogleich an die Lateralstränge der untern Spur an; sie können indess auch dicht neben denselben noch durch ein Internodium hinabsteigen. Die Vereinigung mit denselben erfolgt dann später.

Die Lateralstränge (Fig. 1, hi, ml, op, rs, uv, yz) verschränken sich am erstuntern Knoten mit den seinigen und verhalten sich dann wie die medianen. Sie biegen nämlich am zweiten Knoten aus, worauf in der Regel sich ein zweiter Schenkel nach der andern Seite hin bildet. Die beiden Gabeläste setzen sich entweder an die nächstliegenden Stränge an (der eine an einen medianen, der andere an einen lateralen der erstuntern Spur), oder sie verlaufen anfänglich dicht neben denselben, um nachher mit ihnen zu verschmelzen.

Der Querschnitt in einer gewissen Entfernung unter der Terminalknospe zeigt regelmässig 12 Stränge, 6 für das nächste, 6 damit alternirende für das zweitnächste und die folgenden Paare. Statt eines der letztern kann auch eine Gruppe von 2 oder 3 kleinern noch nicht verschmolzenen Strängen vorhanden sein. Höher aufwärts ist nur die Zahl und Stellung der Gruppen constant (Fig. 2), nicht aber die der einzelnen Stränge, weil diese höher oder tiefer, sowohl in den Knoten als in den Internodien mit einander verschmelzen können.

Humulus Lupulus Lin. (*XVI*, 2 — 5).

Laubtriebe. Auch in der Terminalknospe sind die Blätter diametral-gestellt und die Paare rechtwinklig-alternirend. Die Kanten des 6eckigen Stengels alterniren an den successiven Internodien regelmässig; 2 gegenüberstehende, die einem etwas grösseren Durchmesser entsprechen, steigen von den Blättern herunter. Die 3strängige Blattspur hat im ersten und zweiten Glied eine mittlere Weite von [illegible]° (Fig. 4, abc, def, ghi, klm). Die Stränge gehen durch 3 bis 5 Internodien, bis sie sich mit untern vereinigen. Unter der Terminalknospe findet man daher 19 bis 30 Stränge auf einem Querschnitt, die den Umfang eines Sechseckes darstellen. Die an den Ecken befindlichen gehen in das nächste Blattpaar aus.

Die Entstehungsfolge der Fibrovasalstränge zeigt eine merkwürdige Eigenthümlichkeit. Während sonst in der Regel zuerst der Medianstrang sichtbar wird, so treten hier zuerst die beiden lateralen auf (Fig. 3, bc, ef). Dieselben gehen in die Nebenblätter. Man kann diess sowohl auf Längs- als auf Querschnitten beobachten. Es bilden sich selbst die Lateralstränge eines obern Blattpaars, ehe die Medianstränge des nächstuntern vorhanden sind. Die obersten Querschnitte zeigen daher meist 4 einzelne Stränge (Fig. 3), die folgenden oft 4 Paare von Strängen, welche 4 Stengelecken entsprechen (Fig. 2); es sind diess laterale. In einem etwas weiter entwickelten Stadium sind 2 einzelne (mediane) in den beiden andern Ecken hinzugekommen.

Die Lateralstränge stellen die Mittelnerven der Nebenblätter dar. An dieselben setzen sich im Knoten rechts und links Verbindungsstränge an, von denen der eine mit dem medianen des gleichen Blattes, der andere mit dem lateralen des andern Blattes anastomosirt. Aus diesem Fibrovasalbogen gehen in regelmässiger Folge die seitlichen Nerven der Nebenblätter ab, und zwar in der Weise, dass der Bogen selber als Sympodium von ausbiegenden Strängen angelegt wird (Fig. 5).

Centranthus ruber DC. (XVI, 1).

Laubsprosse. Die regelmässig decussirte Stellung wird schon an den Blattanlagen beobachtet. Die Weite der 3strängigen Blattspur beträgt im ersten Internodium durchschnittlich 110°, im zweiten 120°. Die 6 Stränge eines Knotens gehen durch 2 Stengelglieder, indem sich die seitlichen mit denen des nächsten Knotens verschränken. Sie theilen sich am zweiten Knoten in 2 Schenkel, welche den entsprechenden Strang des senkrecht-untern Blattes zwischen sich fassen, noch getrennt durch ein Glied gehen, und am dritten Knoten sich an den Ursprung der Gabeläste von der erstuntern Spur ansetzen (die Schenkel des medianen Strangs an laterale, die der lateralen Stränge je an einen medianen und einen lateralen, Fig. 1).

Der Querschnitt durch das 3., 4. oder 5. sammt den folgenden gefässführenden Internodien, von oben gezählt, zeigt 24 Stränge, von denen 6 der eigenen, 6 damit abwechselnde der erstobern Blattspur angehören, und 12, die mit den genannten 12 alterniren, die Schenkel der zweitobern Spur darstellen. Von den 24 Strängen können einzelne mit einander verschmelzen, wodurch ihre Zahl vermindert wird.

Aesculus macrostachya Michx. (XVII, 5).

Laubtriebe. Die regelmässig decussirte Blattstellung ist schon in der Knospe vorhanden. Die 3 Stränge einer Spur (Fig. 5, abc, def, ghi, klm, nop, qrs) gehen wenigstens durch 3 Stengelglieder, ohne sich an untere anzulegen. Die seitlichen (hi, lm) kreuzen sich mit denen der nächstuntern Spur. Die beiden Medianstränge eines Blattpaars biegen am zweituntern Knoten symmetrisch-convergirend aus (n, q). Dieselben werden etwas früher angelegt, als die lateralen. Querschnitte durch die 3 oder 4 obersten gefässführenden Internodien zeigen 6, 12, 18 oder 2, 8, 14, 20 Stränge. Weiter nach unten beginnt schon die Vereinigung zu einem Fibrovasalring.

Euphorbia Lathyris Lin. (XIX, 6).

Keimpflänzchen. Die Cotyledonen und die folgenden Blattpaare zeigen eine regelmässig decussirte Anordnung, die auch schon im Knospenzustande deutlich ist. Die 3 Stränge der Cotyledonarspuren (Fig. 6, abc, def) gehen getrennt fast durch den ganzen Cauliculus, und verschmelzen dann in einen kurzen Ring, aus welchem 4 Seitenwurzeln entspringen. Die 6 Stränge des ersten Blattpaars (ghi und klm) treten zwischen die Cotyledonarstränge ein. Die medianen (g und k)

d by Google

theilen sich oben im Stengelchen in 2 Schenkel, und setzen sich mit denselben ungefähr unter dem 4. Theil seiner Länge an die lateralen Cotyledonarstränge an. Die lateralen Stränge des ersten Blattpaars (hi, lm) vereinigen sich in gleicher Höhe, ohne Gabeltheilung, in Folge ihres schiefen Verlaufes theils mit seitlichen theils mit medianen Strängen der Samenlappen.

Die Spuren des 2. und 3. Paars (nop, qrs, tuv, xyz) legen sich im obern Viertheil des Stengelchens (seltener schon etwas höher) an Stränge der Samenlappen und des 1. Paares an. Dabei biegen die medianen am zweituntern Knoten symmetrisch-convergirend aus (n und q, t und x), und die lateralen (op, rs, uv, yz) kreuzen sich mit denen des nächstuntern Paars. — Die Spuren der folgenden Blätter gehen durch 4 bis 6 Stengelglieder, ehe sie sich an untere ansetzen. Man zählt daher auf Querschnitten unter der Terminalknospe bis auf 32 Stränge und darüber. Weiter nach unten sind dieselben in einen Holzring vereinigt; man sieht aber die stärkeren in der Zahl von 20 bis 24 an der innern Seite desselben vorspringen.

Von den Cotyledonen bis zu den Blättern, die der ersten Blüthe vorausgehen, sind die Spuren 3strängig; und die beiden Medianstränge eines Paars biegen am zweituntern Knoten fast ohne Ausnahme symmetrisch aus. Der Verlauf der Lateralstränge dagegen ist verschieden, was mit der Weite der Blattspuren zusammenhängt. Diejenigen der Cotyledonen sind ungefähr 115°, die des nächsten Blattpaars 100° weit. In den folgenden Paaren nimmt die Spurweite allmälig zu. Weiter oben vermindert sie sich wieder und beträgt zuletzt blos noch etwa 70°. Daher finden im untern Theil des Stengels zwischen den auf einander folgenden Spuren Verschränkungen ihrer Lateralstränge statt, und die obere Spur umfasst die senkrecht unter ihr befindliche, indem ihre beiden Lateralstränge am zweiten Knoten divergirend ausbiegen (lm wird von uv, hi von yz, op von β, rs von α umfasst). Im obern Theil des Stengels dagegen verschränken sich die Spuren der successiven Paare nicht; und die Lateralstränge biegen am zweituntern Knoten entweder convergirend aus, so dass sie von der senkrecht untern Spur eingefasst werden; oder sie biegen gleichwendig aus, so dass der eine diese Spur umfasst, der andere von ihr umfasst wird. Im letzten Falle sind sie gewöhnlich mit dem Medianstrang homodrom.

20. Blätter gegenständig. Spuren 3strängig; die Lateralstränge des nämlichen Paars von Anfang an vereintläufig.

Mercurialis annua Lin. und M. perennis Lin. (XVII, 6, 7).

Aus jedem der opponirten Blätter treten 3 Stränge in den Stengel ein (Fig. 7, abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, α, β). Die seitlichen beschreiben im Knoten einen Bogen von ¼ Stengelumfang und vereinigen sich, je der rechtseitliche des einen Blattes mit dem linken des andern (b mit f, c mit c, l mit i, h mit m etc.). Die ganze Spur eines Blattpaars besteht nun in 4 Strängen (Fig. 6 und 7, a, bf, d, ce). Die medianen (Fig. 7, g, k, n, q, t, x) gehen durch das Internodium, und endigen am nächsten Knoten in der Gabel seiner Lateralstränge. Die vereintläufigen Lateralstränge dagegen (li, hm, rp, os, uz, yv) spalten sich am nächsten Knoten in 2 Schenkel, welche im folgenden Internodium den dortigen Medianstrang zwischen sich haben. Sie können am zweiten Knoten mit den Schenkeln der Lateralstränge von der erstuntern Spur sich vereinigen, oder getrennt von denselben durch ein Internodium weiter gehen. Im erstern Fall zeigt der Querschnitt durch ein Stengelglied 8 Stränge: 4 kreuzweise gestellte für das eigene Blattpaar (2 mediane und 2 vereintläufige laterale) und 4 damit alternirende, welche die 4 Schenkel der Lateralstränge vom erstobern Blattpaar darstellen. Im zweiten Falle sieht man auf dem Querschnitt 12 Stränge.

Aus den Axillarknospen treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche zwischen dem Medianstrang des Tragblattes und den beiden Schenkeln eines Lateralstranges vom obern Blattpaar durch ein Internodium hinabsteigen, und sich dann an die letzteren anlegen (Fig. 7. εε, ζζ, ϑϑ, ηη). In dem Stengelglied, das sonst 8 Blattspurstränge enthält, steigt dadurch die Zahl der gesammten Stränge auf 12 (Fig. 6). In demjenigen, das sonst 12 enthalten würde, finden meistens Vereinigungen statt, so dass man zwischen den 4 kreuzweise gestellten Strängen der eigenen Blattspur theils Gruppen von 2 und 3, theils auch einzelne breit gezogene Stränge findet.

21. Blätter gegenständig. Spuren 5strängig; die zweitseitlichen Stränge des nämlichen Paars von Anfang an vereintläufig.

Sambucus nigra Lin. (XVII, 3, 4).

Laubtriebe. Die decussirte Stellung ist auch in der Terminalknospe ziemlich regelmässig. Aus der Blattbasis gehen 5 Stränge in den Stengel (Fig. 3, abcde, fghik, lmnop, qrstu). Der mediane (a, f, l, q) und die beiden erstseitlichen (bc, gh, mn, rs) steigen eigenläufig durch das Internodium hinab. Die beiden zweitseitlichen oder Randstränge dagegen (d, e, i, k, o, p, t, u) vereinigen sich sogleich im Knoten, und gehen vereintläufig bis zum nächsten. Die ganze Spur eines Paars ist daher 8strängig (Fig. 3 und 4, f, g, ie, c, a, b, dk, h, — ou, s, q, r, tp, n, l, m).

Die beiden Medianstränge biegen über den Randsträngen des nächstuntern Paars gleichwendig aus (nach 2 Beobachtungen; Fig. 3, V, a, f); bald aber werden sie durch Bildung eines zweiten Schenkels gabelig (Fig. 3, II, q, l; III, a, f; IV, q, l). Ihre beiden Schenkel fassen den Randstrang zwischen sich, und vereinigen sich im zweiten Knoten mit dessen beiden Gabelästen. — Die beiden erstseitlichen Stränge eines Blattes biegen über den gleichnamigen des nächstuntern Paars divergirend aus (Fig. 3, II, nm, sr; III, cb, gh; IV, nm, sr), ziehen noch durch ein Internodium neben denselben hin und vereinigen sich am zweiten Knoten, indem sie in ihrem divergirenden Verlaufe beharren, gewöhnlich mit dem Ursprung der Gabeläste der Medianstränge vom erstuntern Paar. — Die vereintläufigen Randstränge biegen anfänglich über den Mediansträngen des nächstuntern Blattpaars aus (einmal geschah es symmetrisch-convergirend, Fig. 3, IV, ou, tp), und umfassen dieselben bald nachher gabelig, um sich im zweiten Knoten mit deren Schenkel zu vereinigen (Fig. 3, III, ie, dk).

Bei ganz regelmässigem Verlaufe zeigen die Querschnitte unter der Terminalknospe 20 Stränge (Fig. 4), unter denen man oft die 8 Stränge für das nächste Paar erkennt. Durch Verschmelzung einzelner Stränge kann auch die Zahl vermindert sein. Auf Querschnitten durch die obersten gefässführenden Internodien sieht man 2, 6, 12 Stränge; im letztern Falle gehören 6 stärkere dem eigenen, 6 damit alternirende schwächere dem erstobern Blattpaar an.

Bei einigen Dicotyledonen weichen alle oder einzelne Blattspurstränge von dem radial-senkrechten Verlauf ab. Sie ordnen sich daher nicht in einen einfachen Kreis, wie das bei allen bisher betrachteten Beispielen der Fall war, sondern in 2 Systeme. Das innere Fibrovasalsystem besteht aus Blattspursträngen, die im Mark zerstreut sind, und die, was ihren Verlauf betrifft, mit den Monocotyledonen verglichen werden können. Das äussere stellt einen geschlossenen Fibrovasalring dar, welcher rücksichtlich seiner weitern Fortbildung mit demjenigen der übrigen Dicotyledonen übereinstimmt, und theils durch Blattspurstränge, die senkrecht heruntersteigen, theils durch solche, die einen Bogen nach innen beschrieben haben und aus dem Marke kommen, gebildet wird.

1. Blattspur 3strängig. Die Lateralstränge radial-senkrecht; die Medianstränge einen Bogen durch das Mark beschreibend.

Phytolacca dioica Lin. (XVIII, 8).

Laubsprosse. Die Blätter sind alternirend-schraubenständig. Die mittlere Divergenz beträgt in der Terminalknospe 137½°. Die 3strängige Blattspur ist ziemlich eng; ihre Weite beträgt etwa 24 oder 25°. Der Medianstrang liegt bei seinem Eintritt in den Knoten etwas innerhalb der beiden Lateralstränge; er dringt in das Mark ein, während die letztern zwischen Mark und Rinde bleiben, sich zuerst in 2, dann in mehrere Stränge spalten, und sich seitlich zu einer bandförmigen Fibrovasalmasse vereinigen. Der Medianstrang steigt durch 8 bis 12 Internodien im Mark nach unten, und vereinigt sich dann wieder mit dem

Fibrovasalring. Er beschreibt also einen Bogen, dessen convexe Seite nach der Achse gekehrt ist, und dessen stärkste Wölbung sich in seinem obern Theile befindet. Denn nach einem Verlauf von 3 Internodien hat er schon seine grösste Annäherung an das Centrum des Markes erreicht; von hier geht er langsam nach aussen, und verschmilzt allmälig mit dem Fibrovasalring. Innerhalb des letztern findet man daher, nachdem die Blattspurbildung beendigt ist, 8 bis 12 freiliegende Stränge, von denen die innersten meistens kaum über ein Drittel des Radius nach innen reichen (Fig. 8).

Der erste Fibrovasalring wird also hier vollständig von den Blattspuren gebildet. Er hat begrenztes Dickenwachsthum. Ausserhalb desselben bilden sich neue Fibrovasalringe (Fig. 8). Die Stränge der verschiedenen Ringe stehen blos insofern mit einander in Verbindung, als sie durch Anastomosen in den Knoten verbunden sind. Die Stränge des nämlichen Kreises bilden unter sich ein Netz mit langgezogenen Maschen.

2. 3 Stränge der Blattspur in das Mark eintretend, und einen innern Kreis bildend.

Hieher gehören die Nyctagineen, bei denen der Fibrovasalring, wie es scheint, eine zum Theil von den Blattspuren unabhängige und nur durch schwache Verbindungsstränge mit denselben zusammenhängende Bildung ist.

Pisonia hirtella H. B. (XVIII, 1, 2).

Laubtriebe. Die decussirte Stellung der Blätter findet sich schon ziemlich regelmässig im Knospenzustande. Die 3strängige Spur (Fig. 1, a, b, c, d, e, f) hat eine Weite von ungefähr 65°. Sie tritt sogleich in das Mark ein, wobei die beiden seitlichen Stränge etwas weiter vorrücken, als der mediane. Am nächsten Knoten vereinigt sich die Spur zu einem einzigen Strang, und dringt dabei etwas tiefer in das Mark ein. Am zweiten Knoten, wo dieser Strang vor die Spur eines senkrecht-untern Blattes zu liegen kommt, biegt er neben derselben aus, und vereinigt sich im obern Theil des folgenden Internodiums mit der vereintläufigen Spur eines Blattes des erstuntern Paars. Dieses Ausbiegen geschieht für die beiden Stränge des gleichen Knotens homodrom (Fig. 1, e^1, f^1). Nachher entspringt von der Ausbiegungsstelle ein zweiter Schenkel, welcher sich nach unten auf der entgegengesetzten Seite in gleicher Weise anlegt (e^2, f^2).

Der Querschnitt durch ein Internodium zeigt daher immer 8 Stränge im Mark: 2 gegenüberliegende äussere, die Mediannerven für das nächste Paar (Fig. 2, a, b); damit ein Kreuz bildend 2 stärkere innere, die vereintläufigen Spuren des zweitnächsten Paars (c, d); endlich 4 mittelgrosse, welche mit den 4 genannten alterniren, auch eine mittlere Entfernung vom Centrum zeigen, und die seitlichen des nächsten Paares sind (a, b). Ausserdem beobachtet man

Google

auf dem Querschnitt noch 4 schwache Stränge, welche je zwischen den 4 lateralen und den 2 vereintläufigen stehen, und dem Ring ziemlich genähert sind (g, h, i, k). Diese 4 Stränge entspringen aus den lateralen einer Spur, da wo dieselben am erstuntern Knoten sich zusammenneigen, um sich mit dem Medianstrang zu vereinigen (Fig. 1, gh, ik, lm, no). Wir können daher sagen, dass die Lateralstränge, nachdem sie durch ein Stengelglied hinabgestiegen sind, sich in 2 Schenkel spalten, von denen der eine weiter in das Mark eindringt, um die vereintläufige Spur bilden zu helfen, der andere aber nach unten und aussen geht, um etwa nach einem Internodium in den Fibrovasalring einzutreten. Ob noch andere Verbindungen zwischen dem letztern und den Spursträngen bestehen, ist mir unbekannt.

Aus der Axillarknospe treten 2 Stränge in den Stengel ein, welche aus einander weichen und sich sogleich an die beiden Schenkel der vereintläufigen Spur, die vom zweitobern Knoten herabkommt, ansetzen.

Boerhavia scandens Lin.

Laubtriebe. Blattstellung und Strangverlauf verhalten sich wie bei Pisonia. Aber die 8 Stränge im Mark sind einander mehr genähert, und liegen weiter von dem Fibrovasalring ab. Die 4 kleinern Stränge von Pisonia erkennt man hier nicht. Dagegen wird schon sehr früh im Cambiumring ein Kreis von Strängen sichtbar, welche an seiner innern Fläche mehr oder weniger vorspringen. Diese Stränge steigen von der Blattspur, wo dieselbe in das Blatt ausbiegt, senkrecht herunter.

Bugenvillea spectabilis Willd.

Die mittlere Divergenz der schraubenständigen Blätter beträgt in der Terminalknospe 144½°. 3 Stränge der Blattspur treten in das Mark ein, und ordnen sich daselbst mit den andern Spuren zu einem innern Kreis von Strängen nach folgenden Regeln. Die 3 Spurstränge gehen neben- und eigenläufig durch ungefähr 3 Internodien. Im eigenen Internodium beträgt die Spurweite etwa 30°; in den beiden folgenden wird sie beträchtlich grösser. Am dritten Knoten biegen die 3 Stränge neben der dortigen Spur anodisch aus, und convergiren nun durch die folgenden 2 Glieder, so dass sie, über dem 5. Blatt angelangt, gewöhnlich in einen einzigen Strang verschmolzen sind. Die Vereinigung kann auch schon 1 Internodium höher erfolgen. — Die vereintläufige Blattspur biegt neben derjenigen des 5. untern Blattes kathodisch aus, oder spaltet sich in zwei Schenkel, welche sie rittlings umfassen.

Diess ist der regelmässige Verlauf. Eine Abweichung davon kann insofern statt finden, als ausnahmsweise eine Spur bei der drittuntern aus einander weicht, indem 2 Stränge anodisch, der dritte kathodisch ausbiegt, wodurch die untere von der obern umfasst wird. Eine andere Abweichung besteht darin, dass die vereintläufige Spur am 5. untern Knoten ganz oder grösstentheils anodisch ausbiegt, in welchem Falle ein tangential-schiefer Verlauf der Blattspur bewiesen ist.

Eine Verschränkung der Blattspuren findet nicht statt. Was die Vereinigungen betrifft, so geschehen dieselben ziemlich unregelmässig. Da, wie bereits angedeutet wurde, die Blattspur in ihrem Verlaufe durch die 3 ersten Internodien sich bauchig erweitert, so kann der anodisch-seitliche Strang zwischen dem erst- und zweituntern Knoten mit der drittobern Spur auf eine kurze Strecke verschmelzen. Es kann ferner der kathodisch-seitliche Strang zwischen dem zweit- und drittuntern Knoten streckenweise sich an die zweitobere Blattspur anlehnen. Die vereintläufige Spur legt sich gewöhnlich im 5. untern Internodium auf eine kurze Strecke an die 3. untere Spur an. Wenn sie anodisch ausbiegt, oder sich gabelig spaltet, so verschmilzt der anodische Schenkel gewöhnlich in gleicher Höhe mit der 2. untern Spur. Die Länge des Weges, den eine Spur zurücklegt, bevor sie sich vollständig und dauernd mit untern Strängen vereinigt, beträgt also 5½ Internodien. — Dem entsprechend besteht der innere Kreis aus 12 bis 15 Strängen. Sie bleiben fortwährend getrennt, liegen auch in ungleichen Abständen vom Centrum.

Der äussere Fibrovasalring bildet sich erst einige Zeit nach dem innern Kreis. Der letztere besteht in der Stammspitze schon aus 12 Strängen, ehe in dem äussern Cambiumring noch Gefässe sichtbar sind. Weiter abwärts tritt darin ein Kreis von kleinen Strängen auf, deren Zusammenhang mit den Blättern indess noch nicht deutlich gemacht werden kann. Erst noch etwas tiefer beobachtet man, dass von einem Blatt ausser den 3 Strängen, die in das Mark gehen, noch 2 schwächere in den Stengel eintreten, welche zwischen Mark und Rinde senkrecht hinabsteigen. So wird also der äussere Fibrovasalring bei Bugenvillea ausschliesslich von Blattspursträngen zusammengesetzt, die aber, im Gegensatz zu der bei den Dicotyledonen gültigen Regel, von unten nach oben zu wachsen scheinen. Von dem innern Strangkreis gehen auch einzelne schwache Abzweigungen in den äussern Ring über. Eine Regel dafür konnte nicht gefunden werden. Der Umstand, dass sie einen fast senkrechten Verlauf haben und mehrerer Internodien bedürfen, um beim äussern Ring anzulangen, erschwert die Untersuchung sehr.

3. Der Medianstrang einzelner Blätter oder ein Theil desselben in das Mark eintretend und einen centralen Strang bildend.

Nymphaea alba Lin.

Wurzelstock von magern Exemplaren aus einem fast ausgetrockneten Sumpf. An dem niederliegenden, wenig aufsteigenden Stamm sind die Internodien verkürzt und die Blätter schraubenständig. Der Querschnitt zeigt zwi-

Google

schen Mark und Rinde einen Kreis von getrennten Strängen, welcher meistens in 3 (selten 4) schon dem blossen Auge kenntliche Partien getrennt ist. Diese 3 Partien sind von ungleicher Breite; sie wechseln in der Länge des Stammes fortwährend, und stehen mit der Anordnung der Blätter in Beziehung. Die Stränge des Kreises sind vielfach mit einander verbunden, so dass derselbe von der Fläche betrachtet ein vollkommenes Netz darstellt. Mitten durch das Mark verläuft ein centraler Strang, welcher hin und wieder einen Ast nach dem Netz abgehen lässt.

Aus der Blattbasis treten 5 Stränge in den Stengel ein; 3 davon liegen etwas höher und bilden die eigentliche Blattspur. Ihre beiden Lateralstränge weichen stark aus einander, und verflechten sich auf 2 ziemlich diametralen Punkten mit dem netzartigen Kreis, so dass die Spur etwa 180° weit ist. Der Medianstrang verliert sich ebenfalls meist sogleich in dem Netz. Zuweilen jedoch geht er, nachdem er mit andern Strängen einige Anastomosen gebildet hat, einwärts durch das Mark, um sich mit dem centralen Strang zu vereinigen. An einem Stamm waren es das 8. und 13., an einem andern das 1., 6., 11., 18. und 32. Blatt, deren Medianstränge sich nach dem Centrum wendeten, während diejenigen aller übrigen Blätter in dem äussern Netz blieben. Beim ersten Beispiel befanden sich das 8. und 13., beim zweiten das 1., 6., 11. und 32. Blatt an der obern Seite des liegenden Stammes, das 18. an dessen unterer Seite.

Der centrale Strang erinnert an Myriophyllum und Hippuris. Doch scheint es nicht, dass er selbständig fortwächst; wenigstens konnte er in dem einen Falle auf successiven Durchschnitten durch die Stammspitze erst wahrgenommen werden, nachdem das 8. gefässführende Blatt (von oben gezählt) seinen Medianstrang nach dem Centrum entsendet hatte. Der centrale Strang von Nymphaea dürfte daher als ein Sympodium von Mediansträngen anzusehen sein.

Die beiden lateralen Stränge neigen sich beim Eintritt in den Blattstiel zusammen und vereinigen sich, nachdem sie zuerst je einen Ast abgegeben haben, mit dem Medianstrang, aus welcher Vereinigung dann die übrigen Stränge des Blattstieles auf ziemlich regelmässige Weise sich abzweigen.

Ausser den genannten 3 Strängen, welche die eigentliche Blattspur bilden, treten noch 2 andere aus dem Stengel in die Blattbasis ein. Dieselben gehen je zwischen einem medianen und einem lateralen Blattspurstrang und etwas tiefer als die letztern von dem Netz ab, convergiren und vereinigen sich zu einem Strang, welcher die in regelmässiger Folge und Stellung an der Blattbasis entspringenden Wurzeln versorgt.

In der Anordnung der Blattspuren besteht zwischen den Dicotyledonen und Monocotyledonen kein durchgreifender Unterschied. Einzelne Gewächse der einen und der andern Abtheilung verhalten sich nahezu gleich. Während aber die grosse Mehrzahl der Dicotyledonen wenigsträngige Blattspuren mit radial-senkrechtem Verlauf hat, so finden wir bei den Monocotyledonen fast lauter vielsträngige Spuren mit complicirter radialer Verschränkung. Nur eine Erscheinung, die aber nicht in der Anordnung, sondern in der Natur der Fibrovasalstränge begründet ist, bildet, wie früher hervorgehoben wurde, ein charakteristisches Merkmal. Im Stengel der Monocotyledonen vereinigen sich die Stränge, wenn sie auch noch so gedrängt liegen, nicht zu einem geschlossenen fortbildungsfähigen Ring. — Ich will für den Verlauf der Blattspuren bei den einsamenlappigen Gewächsen als Beispiele einerseits Dioscorea und Tamus, anderseits Chamaedorea, Cordyline und Calodracon, welche die beiden Extreme darstellen, anführen.

Dioscorea Batatas Desne. (XVIII, 3—7; XIX, 1).

Laubtriebe. Die Blätter sind bald schraubenständig, bald decussirt. Die letztere Stellung findet sich schon ziemlich regelmässig in der Terminalknospe. Die Blattspur ist 3strängig. Bei decussirter Stellung (Fig. 5, 6, 7, abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz) beträgt ihre Weite ungefähr 120°. Berücksichtigen wir zuerst ihren Verlauf in tangentialer Richtung, so gehen die 6 Stränge eines Blattpaars ziemlich gerade durch 2 Internodien, wobei sich die lateralen am ersten Knoten mit den dortigen lateralen verschränken (Fig. 7). Ueber den Strängen des zweituntern Knotens anlangend, biegen die beiden seitlichen Stränge einer Spur (Fig. 7, op, rs, uv, yz) convergirend aus, und setzen sich an laterale Stränge des erstuntern Paars an; der Medianstrang aber (Fig. 7, n, q, t, x) theilt sich in zwei Schenkel, die sich mit den nämlichen Strängen vereinigen. Die Blattspur tritt hier sehr nahe zusammen, und bildet durch Verschmelzen meist eine einzige Masse. In jedem Knoten beobachtet man demnach 2 Fibrovasalmassen, zwischen denen die Medianstränge des nächstobern Paars hindurchgehen, ohne daran Theil zu nehmen, und von denen jede durch 5 von oben kommende Stränge gebildet wird und nach unten in 2 Stränge sich fortsetzt.

Die 6 Stränge eines Blattpaars gehen also nicht weiter als durch 2 Internodien, bis sie mit untern verschmelzen, und der Querschnitt durch ein Stengelglied zeigt 12 Stränge (Fig. 6), von denen 6 am eigenen (abc, def) und 6 damit alternirende am erstobern Knoten austreten (ghi, klm). Diese 12 Stränge würden in einen Kreis gestellt sein, wenn sie einen radial-senkrechten Verlauf hätten. Diess ist aber nicht der Fall, sondern sie dringen, indem sie weiter nach unten gehen, tiefer in das Mark ein. Indess beschränkt sich der radialschiefe Verlauf fast ausschliesslich auf die Knoten; der gleiche Strang zeigt daher in den beiden Internodien einen ungleichen Abstand vom Centrum. Die Lateralstränge, welche schon in ihrem eigenen Glied weiter nach innen vorgerückt sind, als der Medianstrang, zeichnen sich in dieser Beziehung im nächstuntern Internodium noch mehr vor demselben aus.

Der Querschnitt durch ein Internodium zeigt uns daher folgende regelmässige Anordnung: 4 Stränge nahe dem Centrum ein Rechteck bildend (die lateralen für das erstobere Paar, Fig. 5, m, h, i, l), 2 ziemlich weiter nach aussen, auf der breiten Seite des Rechteckes (die medianen für das erstobere Paar, g und k), 4 rechts und links von den beiden vorhergehenden und wenig weiter nach aussen (die lateralen für das eigene Blattpaar, e, f, c, b), endlich 2 weit ausserhalb der schmalen Seite jenes Rechteckes (die medianen für das eigene Paar, a und d), — oder wir können einfach sagen, einen innern Kreis von 4 und einen äussern von 8 Strängen. Jede der beiden im Knoten befindlichen Fibrovasalmassen wird von oben her durch 3 Stränge des äussern und durch 2 des innern Kreises gebildet, und sendet 2 innere Stränge nach unten.

Bei schraubenständiger Stellung der Blätter (Fig. 3) geht der Medianstrang (k, n, q, t) durch 3 Stengelglieder, berührt am 3. Knoten kathodisch abweichend den Lateralstrang der eigenen und den anodisch-lateralen der nächstuntern Spur, geht dann noch durch 2 weitere Glieder, und vereinigt sich am 5. Knoten mit dem anodisch-seitlichen Strang des 3. untern Blattes. Der kathodisch-seitliche (h, l, o, r) verschmilzt am 3. untern Knoten oder auch schon weiter oben mit dem anodisch-seitlichen der nächstuntern Spur. Der anodische Lateralstrang (i, m, p, s) steigt durch 5 Internodien nach unten, wobei er im 2. Knoten andere Stränge höherer Blattspuren berührt, und vereinigt sich am 5. Knoten mit dem Medianstrang des 2. untern Blattes.

Diesem Verlaufe entsprechend findet man auf dem Querschnitte 11 bis 13 Stränge; unter denselben sind 5 innere (Fig. 4). — Der Medianstrang und der kathodische Lateralstrang eines Blattes bleiben durch 3, der anodisch-seitliche durch 2 Internodien im äussern Kreis; dann wenden sie sich im Knoten nach innen, um mit andern zu verschmelzen. In jedem Knoten kommt bei der schraubenständigen Blattstellung eine einseitige Fibrovasalmasse (Fig. 3) vor, in welche 5 von oben kommende Stränge eintreten, nämlich 3 des äussern Kreises (1 vom 2. obern und 2 vom 3. obern Blattpaar) und 2 des innern Kreises (1 von der Masse des 2. obern und 1 von derjenigen des 3. obern Knotens kommend). Nach unten setzt sich die Fibrovasalmasse in 2 Strängen des innern Kreises fort.

Bei schraubenständiger Blattstellung ist übrigens die Anordnung der Stränge nicht immer die eben angegebene, zuweilen findet man auf Querschnitten blos 3 oder 4 Stränge im innern Kreis und 6 bis 8 im äussern, was mit dem Umstande zusammenhängt, dass dieselben schon nach kürzerem Verlaufe sich mit einander vereinigen (Taf. XIX, 1).

Tamus communis Lin.

Laubtriebe. Die Blätter sind schraubenständig, aber mit verschieden grosser Divergenz. Aus der Blattbasis treten 3 Stränge in den Stengel ein (Foliarstränge); aus der Axillarknospe kommen ebenfalls 2 (Axillarstränge), welche entweder zwischen dem Medianstrang und je einem der lateralen Foliarstränge auf eine kürzere oder längere Strecke eigenläufig hinabsteigen, oder aber sich sogleich mit dem betreffenden lateralen vereinigen. Die Spur des Blattes und seines Axillarzweiges ist daher 3- 4- oder 5strängig. Die Anordnung der Spurstränge zeigt bei verschiedenen Zweigen und verschiedenen Pflanzen beträchtliche Modificationen, je nachdem der Abstand zweier Blätter grösser oder kleiner, je nachdem ferner die Spuren enger oder weiter und 3- 4- oder 5strängig sind. Es wurden folgende 4 Fälle beobachtet.

I. Ein Zweig, dessen Blattstellung $^5/_{13}$ zu sein scheint, hat ungleichhälftige, theils 3-, theils 4strängige Spuren. Die kathodische Hälfte der Spur ist immer enger und ihr Axillarstrang ohne Ausnahme mit dem lateralen Foliarstrang vereintläufig oder wenigstens nur auf eine kurze Strecke von demselben getrennt. Die anodische Hälfte ist weiter und ihr Axillarstrang häufig getrenntläufig.

Der Medianstrang geht eigenläufig durch 3 Internodien, und setzt sich an den anodisch-lateralen Foliarstrang des 3. untern Knotens an, es mag der letztere getrennt- oder vereintläufig sein. — Der kathodische vereintläufige (Foliar- und Axillar-) Strang steigt durch 3 Stengelglieder hinunter, und vereinigt sich am 3. untern Knoten, wenn der anodische Foliar- und Axillarstrang vereintläufig sind, mit denselben (also wie der Medianstrang); sind sie aber getrenntläufig, so setzt er sich entweder an den anodischen Axillarstrang an, oder er spaltet sich in 2 Schenkel, von denen der eine mit dem Axillar-, der andere mit dem Foliarstrang verschmilzt.

Der vereintläufige anodische (Axillar- und Foliarstrang) setzt sich im 2. untern Knoten an dessen vereintläufigen Kathodalstrang an. Sind Axillar- und Foliarstrang getrenntläufig, so verschmilzt, wenn sie nicht vorher vereintläufig geworden sind, jeder für sich mit dem eben genannten Strang des dritten Knotens. Ist aber der letztere in 2 Stränge getrennt, so hat die Vereinigung mit dem Axillarstrang (nicht mit dem Foliarstrang) statt.

Entsprechend diesem Verlauf finden wir auf dem Querschnitt 9 oder 10 Spurstränge. Dieselben sind in einen Kreis gestellt, mit ungleichen Abständen vom Centrum. Von den 4 Strängen einer Spur ist der mediane am meisten excentrisch, dann folgt der anodische Foliarstrang, und am tiefsten reichen der kathodische vereintläufige und der anodische Axillarstrang in das Mark hinein. — Von allen Strängen des Querschnittes liegt der Medianstrang des eigenen Knotens, dem die am stärksten vorspringende Ecke entspricht, am weitesten vom Centrum ab. Darauf folgt der Medianstrang des erstobern Blattes, welcher unter der zweitstärksten Ecke liegt, und dann der mediane des zweitobern Blattes unter der drittstärksten Ecke. Am tiefsten ragen gegen den Mittelpunct hinein der vereintläufige kathodische Lateralstrang vom zweitobern, der anodische Axillarstrang und der vereintläufige kathodische Strang vom erstobern Knoten.

II. Ein anderer Zweig, ebenfalls wie es scheint mit $^5/_{13}$ Stellung der Blätter, hat ebenso ungleichhälftige, bald 4- bald 5strängige Spuren. Die anodische

Google

Hälfte ist weiter, und zeigt immer den Axillarstrang und den lateralen Foliarstrang getrenntläufig; indess die seitlichen Stränge der engern kathodischen Hälfte häufig von Anfang an vereintläufig sind oder wenigstens nach kurzem Verlaufe mit einander verschmelzen.

Der Medianstrang geht eigenläufig durch 5 Stengelglieder, und setzt sich dann gemeinschaftlich mit den anodischen Strängen der 3. untern Spur (mit der er sich nicht verschränkt) an den Axillarstrang der 5. untern an; oder er vereinigt sich schon am drittuntern Knoten mit dem anodischen Axillarstrang oder Foliarstrang desselben. — Der kathodische vereintläufige (Foliar- und Axillar-) Strang setzt sich im 3. untern Knoten an dessen anodischen Axillarstrang an. — Der anodische Foliarstrang vereinigt sich nach 2 Internodien mit dem vereintläufigen Seitenstrang oder dem kathodischen Axillarstrang der zweituntern Spur; das Nämliche thut der anodische Axillarstrang.

Der Querschnitt durch den Zweig zeigt 10—12 Spurstränge, von denen ebenfalls immer der Medianstrang der untersten Spur am meisten excentrisch liegt. Besteht die Spur aus 5 Strängen, so reichen unter denselben die Axillarstränge am tiefsten in das Mark hinein; indess die lateralen Foliarstränge nur wenig tiefer liegen als der mediane. — Die Spurweite beträgt im eigenen Internodium 100—110°; sie nimmt nach unten hin ab.

III. In einem dritten Zweig ist die Blattstellung ähnlich wie in den beiden vorhergehenden und beträgt ungefähr 138°. Die Spuren sind alle 5strängig und annähernd gleichhälftig.

Der Medianstrang geht, ohne sich mit der 5. untern Spur zu verschränken, kathodisch neben derselben vorbei, und vereinigt sich im 8. Knoten mit einem der Axillarstränge der 8. untern Spur, wobei ein schwächerer Schenkel sich mit dem andern Axillarstrang verbinden kann. — Der kathodische Foliarstrang setzt sich im 3. untern Knoten an den anodischen Axillarstrang desselben an. Der kathodische Axillarstrang geht ebenfalls durch 3 Stengelglieder, und setzt sich an den nämlichen Axillarstrang des 3. untern Knotens an; oder er geht anodisch neben der 3. untern Spur vorbei, und lässt sich noch durch 2, 3 und mehr Internodien verfolgen, worauf er sich an den rechts oder links zunächst liegenden Strang ansetzt (nämlich an den anodischen Foliarstrang der 3. untern oder an den Medianstrang der eigenen Spur). Nicht selten kommt es auch vor, dass der genannte kathodische Axillarstrang im 3. untern Knoten sich in 2 gleich oder ungleich starke Schenkel spaltet, welche den dortigen anodischen Foliarstrang zwischen sich fassen, und von denen jeder sich verhält, wie es sonst der ganze Strang thut.

Der anodische Foliar- und der anodische Axillarstrang gehen meist getrenntläufig durch 5 Internodien, und setzen sich beide im 5. untern Knoten an dessen kathodischen Axillarstrang an. Sie können aber auch schon nach 3 oder 4 Schritten vereintläufig werden. Zuweilen spaltet sich dieser vereintläufige Strang im 5. Knoten in 2 Schenkel, welche den Medianstrang der 5. untern Spur zwischen sich fassen, und von denen sich der eine an den kathodischen, der andere an den anodischen Axillarstrang anlegt. Zuweilen auch setzt sich von den beiden Strängen, welche immer getrennt bleiben, der Foliarstrang an den anodischen, der Axillarstrang an den kathodischen Axillarstrang der 5. untern Spur an.

In Folge dieses Strangverlaufes zeigt der Querschnitt durch einen Zweig 23—28 Spurstränge, welche ungleich weit nach innen reichen, und mit Rücksicht auf diese Eigenthümlichkeit die nämlichen Verhältnisse zeigen, wie sie schon für die andern Zweige angegeben wurden. Die auffallende Verschiedenheit in der Zahl der Spurstränge zwischen diesem Zweig und den beiden vorhergehenden, obgleich die Blattstellung, soviel sich ermitteln liess, die nämliche war, scheint vorzüglich von der ungleichen Weite der Spuren und der ungleichen Zahl ihrer Stränge sowie von dem ungleichen tangential-schiefen Verlaufe herzurühren.

Der Abstand zweier successiver Medianstränge ist auf die Länge von 5 Internodien durchschnittlich 136°. Also beträgt die Abweichung von der Verticale auf die Länge eines Internodiums circa 2° (wenn die Blattdivergenz = 138°). Der Medianstrang trifft auf die Mitte der 8. untern Blattspur, und setzt sich, wie ich gesagt habe, bald anodisch- bald kathodisch-ausbiegend, an einen der beiden Axillarstränge an. Macht der Abstand je zweier Blätter 138° aus, so ist das 8. Blatt 24° von der auf dem Ausgangsblatt errichteten Verticale entfernt, was 3° Abweichung auf die Länge eines Stengelgliedes ergiebt. Daraus scheint zu folgen (vorausgesetzt die Richtigkeit der Messungen), dass die Spurstränge nicht blos einen tangential-schiefen (mit der Blattspirale homodromen) sondern auch einen krummlinigen Verlauf haben, in der Weise, dass sie vom 5. untern Knoten an abwärts sich noch mehr von der senkrechten Richtung entfernen.

Die Spurweite beträgt im Mittel 55°; bei den beiden vorhergehenden Zweigen betrug sie das Doppelte. Durch die geringere Spurweite wird der Umstand bedingt, dass der Medianstrang bei der 5. untern Spur und die anodischen Stränge bei der 2. untern Spur vorbeigehen, während sie bei den zwei ersten Zweigen sich daselbst ansetzen, und dass somit eine beträchtliche Zunahme der auf dem Querschnitt getrennt neben einander liegenden Spurstränge erfolgt.

IV. Ein vierter Zweig zeichnet sich durch seine abweichende Blattstellung aus. Das dritte Blatt nämlich, statt in der Schraubenlinie über das Ausgangsblatt hinauszugehen, bleibt hinter demselben zurück. Diess liess sich sowohl an dem gedrehten Zweig aus dem Verlaufe der Stengelrippen, als namentlich an dem ungedrehten Endtheil deutlich erkennen. Die von der Mediane eines Blattes herunterlaufende Kante trifft auf die kathodische Seitenkante des drittuntern Blattes. Die Divergenz beträgt demnach $^{3}/_{7}$ des Umfanges, oder eher etwas mehr, vielleicht $^{4}/_{13}$, wenn die Blattstellung aus dem Verlaufe der Stengelkanten erschlossen werden kann. Die Abstände in der Terminalknospe zu bestimmen, misslang. Der Verlauf der Spurstränge stimmt übrigens ebenfalls mit der Annahme einer $^{5}/_{13}$ Stellung überein.

Die Spuren sind alle 5strängig und gleichhälftig. — Der Medianstrang geht durch 7 Stengelglieder, und legt sich im 7. Knoten an den dortigen kathodischen Axillarstrang an. Er kann auch schon 1 oder 2 Internodien höher mit dem anodischen Foliarstrang der 4. untern Spur verschmelzen, welcher im 7. Knoten mit dem nämlichen Strang sich vereinigt.

Die beiden kathodischen Stränge werden oft nach 1, 2, 3 oder 4 Internodien vereintläufig, und setzen sich als vereintläufiger Strang (seltener jeder einzelne für sich) im 4. untern Knoten an den anodischen Axillarstrang desselben an. Es geschieht aber auch, wenn die beiden Stränge getrennt bleiben, dass blos der Foliarstrang sich an den genannten Axillarstrang der 4. untern Spur anlegt; während der Axillarstrang (ohne sich mit derselben zu verschränken) noch durch 3 Internodien weiter hinabgeht, und sich (zugleich mit dem Medianstrang der eigenen Spur) an den kathodischen Axillarstrang der 7. Spur ansetzt, wobei er auch schon früher mit dem Medianstrang der eigenen oder mit dem anodischen Foliarstrang der 4. untern Spur vereintläufig werden kann.

Die beiden anodischen Spurstränge bleiben durch 3 Stengelglieder getrennt, oder sie werden nach 1—2 Schritten vereintläufig. In jedem Falle setzen sie sich im drittuntern Knoten an den kathodischen Axillarstrang desselben an.

Der Querschnitt zeigt 15—19 Stränge, entsprechend dem eben geschilderten Verlaufe derselben. Die Differenz gegenüber den 3 frühern Zweigen (I, II, III) ist charakteristisch. Der Medianstrang vereinigt sich bei I mit der 3., bei II mit der 5., bei III mit der 8., bei IV dagegen mit der 7. Spur. Die seitlichen Stränge setzen sich bei I und II an die 2. und 3., bei III an die 3. und 5., z. Th. auch an die 8. Spur an, bei IV dagegen an die 3., 4. und 7. Spur.

Bei allen Zweigen, also bei jeder Blattstellung, bei jeder Spurweite und jeder Zahl der Spurstränge mangeln die Verschränkungen durchaus. Der Strang einer höhern Spur geht entweder neben der tiefern Spur vorbei, oder er setzt sich an einen Strang derselben an. Aber nie steigt er zwischen den Strängen einer andern Spur und von denselben getrenntläufig abwärts.

Ich habe wiederholt bemerkt, dass die Spurstränge ungleich tief in das Markparenchym hineinreichen, und dass von den 5 Strängen der nämlichen Spur die axillaren beträchtlich tiefer liegen als die foliaren. Was das Verhalten des nämlichen Stranges in verschiedener Höhe betrifft, so kann vielleicht im Allgemeinen gesagt werden, dass er, sowie er weiter abwärts steigt, etwas tiefer ins Mark eindringt. Dabei kommen übrigens noch die Vereinigungen in Berücksichtigung.

Wenn 2 Stränge, die ungleich tief in das Mark hineinreichen, mit einander verschmelzen, so erkennt man oft noch durch mehrere Internodien die beiden Vasalbündel deutlich getrennt, indem das eine an der innern Ecke von dem keilförmigen Querschnitt des Fibrovasalstranges, das andere an der einen Seite liegt. — Wie es scheint, giebt es aber auch Stränge, welche sich nicht mit untern Strängen vereinigen, sondern nach und nach kleiner werden, ihre Gefässe verlieren und dann als Fibralstränge allmälig verschwinden.

Chamaedorea elatior Mart. (XIX, 5).

Die Blattstellung ist schraubenständig mit ⅓ Divergenz. Die Blattscheiden enthalten sehr zahlreiche Stränge. Der Querschnitt zeigt innen grössere Fibrovasalstränge mit kleinem Basttheil, aussen kleinere und gedrängter stehende Fibrovasalstränge mit grösserm Basttheil; überdem zerstreut durch das ganze Gewebe kleine Baststränge. — Unter allen entsteht zuerst ein in der Medianlinie und an der innern Seite befindlicher Fibrovasalstrang, der als Medianstrang bezeichnet werden muss. Er liegt genau vor der axillaren Knospe. Auf Querschnitten durch die Terminalknospe beobachtet man meistens eine Blattscheide, welche erst in ihrem Medianstrang Gefässe entwickelt hat und überdem blos Cambiumstränge enthält. Darauf entstehen die übrigen an der innern Seite der Blattscheide befindlichen Fibrovasalstränge, und zwar bewegt sich diese Bildung von der Blattmediane aus rechts und links nach der gegenüberliegenden Seite des Stengels hin. Ehe hier noch die letzten des innern Kreises angelegt werden, erscheinen ausserhalb des Medianstranges die ersten des zweiten Kreises; und es schreitet bald am ganzen Umfange die Bildung der Fibrovasalstränge von innen nach aussen hin fort.

Alle Stränge der Blattscheide treten in den Stamm ein, und zwar gehen sämmtliche Fibrovasalstränge in das Mark, sämmtliche Baststränge in die Rinde. Es findet daher zwischen der Mehrzahl der erstern und der letztern im Knoten eine radiale Kreuzung statt, da sich auch an der innern Seite der Blattscheide Bast-, an der äussern Fibrovasalstränge befinden. Die Baststränge haben im Stamme einen radial-senkrechten Verlauf. Von den Fibrovasalsträngen steigen die äussersten der Blattscheide ebenfalls vertical hinunter und zwar im äussersten Theile des Markes. Die übrigen dringen mehr oder weniger weit in das Mark ein, und beschreiben mit Rücksicht auf ihre radiale Richtung bald einen sehr schwachen, bald einen in allen Abstufungen stärkern Bogen. Am meisten weichen von dem radial-senkrechten Verlauf der Medianstrang und die ihm zunächst liegenden Stränge des innern Kreises der Blattscheide ab; sie dringen bis zum Centrum vor.

Häufig gehen die Stränge ziemlich rasch nach innen, und bewegen sich dann langsam nach aussen; sie können aber auch langsam nach innen und nach aussen vorrücken. Doch müssen wir im Allgemeinen als Regel aussprechen, dass von dem ganzen Bogen, den ein Strang beschreibt, der obere Theil ziemlich stärker gewölbt ist, als der untere. — Der Verlauf scheint zuweilen ein ziemlich stetiger zu sein. Häufig aber bildet er eine gebrochene Linie, indem der Strang eine Strecke weit senkrecht verläuft, dann plötzlich nach innen oder nach aussen biegt, wieder senkrecht hinabsteigt, und dann eine neue gleiche

Biegung macht. Es giebt selbst Stränge, welche das eine Mal nach aussen, das andre Mal nach innen biegen. Es giebt andere, die auf längern Strecken ziemlich gerade verlaufen und dann plötzlich einen grossen Bogen machen; z. B. Stränge, welche durch 1 oder 2 Internodien dicht innerhalb der Rinde senkrecht hinabsteigen, dann plötzlich nach innen sich wenden und ziemlich tief in das Mark eindringen. Das Letztere findet namentlich dann statt, wenn die peripherischen Stränge, die sonst innerhalb der Rinde bleiben, auf einen innern Strang eines untern Blattes treffen, der nach dem Centrum hin sich bewegt, und den sie nun auf seinem Marsche eine Strecke weit begleiten.

Dieser Verlauf der Stränge wiederholt sich bei allen Blättern mit der bereits angegebenen allgemeinen Regel, dass die der Mediane genäherten Fibrovasalstränge des innern Kreises der Blattscheide den grössten, ihre äussersten den kleinsten oder gar keinen Bogen in radialer Richtung beschreiben. Daraus folgt, dass der Strang eines obern Blattes wenigstens mit dem entsprechenden des senkrecht untern Blattes sich kreuzen muss, wie es das Schema von Mohl zeigt, vorausgesetzt, dass der Verlauf in tangentialer Richtung ein senkrechter sei.

Berücksichtigen wir nun den Verlauf der Fibrovasalstränge in tangentialer Richtung, oder wie er sich darstellt, wenn wir ihn auf eine Cylinderfläche projiciren, so können wir sagen, dass wahrscheinlich kein einziger eine vollkommen senkrechte Richtung zeigt. Die grosse Mehrzahl der Stränge einer Blattspur hat einen entschieden spiraligen Verlauf, indem sie sich um die Achsenlinie des Stengels drehen; und zwar sind sie unter sich und mit der Blattspirale homodrom. Aber die Abweichung von der Verticallinie zeigt ungleich grosse Werthe. Am meisten weichen die Stränge des innern Kreises der Blattscheide, namentlich der Medianstrang und die ihm zunächstliegenden ab.

An einem Stengel wurde die Anordnung aller Stränge in den 6 obersten gefässführenden Internodien durch etwa 110 successive Querschnitte ermittelt. Der Medianstrang des obersten Blattes (Fig. 5, d) machte durch 6 Internodien $1\frac{1}{4}$ Umlauf und befand sich auf seiner Rückkehr nach aussen noch nicht ganz in der Mitte zwischen dem Centrum und der innern Fläche der Rinde (d^1). Der des zweiten Blattes (c) machte durch 5 Internodien $1\frac{4}{11}$ (und wenn eine ganze Wendung beinahe auf der nämlichen Stelle im Centrum hinzugerechnet wird, $2\frac{1}{11}$) Umlauf, und war dann wenig über $\frac{1}{4}$ seines radialen Verlaufes nach aussen angelangt (c^1). Der Medianstrang des dritten Blattes (b) beschrieb durch 4 Stengelglieder $\frac{7}{8}$ eines ganzen Umlaufes und hatte, auf seinem Marsche nach aussen, ebenfalls etwas mehr als $\frac{1}{4}$ des Radius zurückgelegt (b^1). Derjenige des vierten Blattes (a) war durch 3 Internodien eben beim Centrum angekommen, und hatte bis dahin $\frac{5}{8}$ eines Umlaufes vollendet (a^1). — Die stärkste Abweichung in tangentialer Richtung trifft immer auf den innersten Theil des Bogens; und die grösste Annäherung an das mathematische Centrum hat dann statt, wenn der Strang $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ seines spiraligen Verlaufes, von oben an gerechnet, zurückgelegt hat.

Ganz ähnlich wie die Medianstränge verhalten sich diejenigen, welche ihnen in der Blattscheide zunächst liegen und dem innern Kreise angehören. Man sieht dessnahen aus jedem Blatte 3—5 Stränge in stark spiraliger Neigung bis zum Centrum vordringen und wieder nach aussen kehren. Die übrigen zeigen gleichmässig geringere Abweichungen in tangentialer und in radialer Richtung. Von allen Strängen eines Blattes machen nur diejenigen eine Ausnahme, welche dem anodischen Blattrande angehören. Während bei Linksdrehung der Blattspirale alle übrigen linksgewundene Schrauben darstellen, so beschreiben diejenigen des linken (vom Centrum des Stammes betrachtet) Randes schwache rechtswendige Spiralen. Es stimmt diese Erscheinung mit der allgemeinen Regel überein, dass eine Blattspur nach unten sich erweitert, und dass somit die Stränge der beiden Ränder convergiren.

Diese Ausnahmen spielen aber in der ganzen Anordnung der Stränge eine so untergeordnete Rolle, dass sie dieselbe nicht zu stören vermögen, und dass der Verlauf somit im Allgemeinen als ein homodrom-spiraliger bezeichnet werden kann. Am sichersten überzeugt man sich davon durch eine Reihe genauer Aufnahmen von successiven Querschnitten, am leichtesten aber durch senkrechte Durchschnitte der Terminalknospe, welche genau die Mitte treffen und nicht zu dünn sind. Man sieht nun, dass alle Stränge schief stehen und in der Projection auf die Schnittfläche gewöhnlich nach der gleichen Seite geneigt sind, dass aber die der einen (rechten oder linken) Hälfte mit ihrem dem Scheitel zugekehrten Ende, die der andern Hälfte mit ihrem dem Scheitel abgekehrten Ende die obere Schnittfläche berühren. Die Abbildung von Schacht (Pflanzenzelle Taf. XVII, 12), welche die Anordnung der Stränge in Chamaedorea Schiedeana zeigen soll, giebt eine unrichtige Vorstellung.

Mit dem tangential-spiraligen Verlaufe der Stränge verhält es sich übrigens rücksichtlich seiner Regelmässigkeit wie mit dem radial-bogenförmigen. Die Abweichungen vertheilen sich bald gleichmässig auf eine bestimmte Strecke, bald so, dass auf einen fast senkrechten Verlauf plötzlich eine Biegung folgt, bald auch so, dass stellenweise selbst eine rückgängige Bewegung eintritt. Die Projection auf eine Cylinderfläche zeigt daher häufig eine gebrochene und selbst eine zickzackförmige Linie; das Nämliche ist mit der Horizontalprojection auf eine Kreisfläche der Fall. — Die Abweichungen von der regelmässigen bogen- und schraubenförmigen Richtung werden ohne Zweifel durch die Anordnung der schon vorhandenen Stränge bedingt, zwischen denen sich die der obern Blätter durchwinden müssen.

Wegen des spiraligen Verlaufs liegt ein Strang abwechselnd auf verschiedenen Seiten des Stammes, auch einmal auf der dem Eintritte diametral-gegenüberliegenden. Wie aus den eben erwähnten Beispielen hervorgeht, zeigen ferner die nämlichen Stränge verschiedener Blätter auf gleiche Längen ungleiche tangentiale Abweichungen, und es ist vorauszusehn, dass sie auch auf ganz verschiedenen Seiten an der Oberfläche anlangen werden. Es ist daher das Schema von Mohl nur insofern auch für Chamaedorea richtig, als es die Projection homologer Blattspurstränge auf eine radial-senkrechte Ebene darstellt. Der senkrechte Durchschnitt kann uns nie eine demselben entsprechende Ansicht geben. Dagegen könnte er möglicher Weise eben sowohl ein Bild liefern, welches der Desfontaines'schen Theorie entspricht, wenn er nämlich zufällig äussere Stränge von untern und innere von obern Blättern blosslegt; oder auch ein Bild, welches die Ansicht von Mirbel zu bestätigen scheinen würde, insofern es innere Stränge der Blattscheide zeigt, welche auf die entgegengesetzte Seite des Stammes übertreten.

Die Mehrzahl der Blattspurstränge von Chamaedorea dringt in das Mark ein, und wendet sich abwärts wieder allmälig nach aussen, bis dicht unter die Rinde. Dabei verändert sich der Bau eines Stranges vornämlich in der Weise, dass er oben aus viel Xylem mit Spiralgefässen und wenig Bast, unten aus wenig Xylem blos mit porösen Gefässen und viel Bast besteht. Wenigstens gilt diess für die innern Stränge einer Blattscheide, welche tief in das Mark eindringen. Die Verschiedenheit ist um so geringer, je mehr sie der Rinde genähert bleiben. Daher rührt das aus den Untersuchungen Mohl's bekannte und auch oben erwähnte Verhalten der Stränge eines Querschnittes (Pag. 19).

Wenn der von oben nach unten gehende Strang dicht innerhalb der Rinde angelangt ist, so vereinigt er sich mit einem andern, der ihm gerade zunächst liegt. Diese Vereinigungen finden bald in tangentialer, bald in radialer, bald in schiefer (tangential-radialer) Richtung statt; ich habe oben schon davon gesprochen (Pag. 20). Das Austreten eines Stranges in die Rinde konnte ich, in Uebereinstimmung mit den Angaben von Schacht, weder auf Querschnitten noch auf Längsschnitten je beobachten; die Bastbündel der Rinde kommen alle direct aus dem Blatt. Die Verschmelzungen der Fibrovasalbündel innerhalb der Rinde sind sehr häufig, wie man sich namentlich auf successiven Querschnitten unterhalb der Stammspitze, wo sie vor vollständiger Verholzung des Bastkörpers am deutlichsten gesehen werden, überzeugt. Sie kommen ungefähr in der Menge vor, dass sie dem Zuwachs, den die Zahl der Stränge in einem Stamm durch die Blätter erfährt, durch einen entsprechenden Abgang das Gleichgewicht halten. Denn im Ganzen ist die Zahl der Stränge in den ausgebildeten Internodien die nämliche, obgleich sie stellenweise sich steigern oder vermindern kann. Die Angabe Mohl's, dass die Fibrovasalstränge der Palmen nach unten in Baststränge endigen, findet also für Chamaedorea keine Anwendung.

Im Marke dagegen mangeln bei Chamaedorea, wie es Mohl für die übrigen Palmen angiebt, die Vereinigungen (oder Verzweigungen) der Stränge beinahe gänzlich. Nach der Darstellung von Schacht (Anat. u. Phys. I, 327) würde es zwar scheinen, als ob diess ein normaler Prozess sei, denn er sagt, die zu den Blättern tretenden Gefässbündel vermehren sich im Innern des Stammes und zwar unter der Terminalknospe und im Verdickungsring durch Theilung. Bei Ch. elatior war es mir unmöglich, etwas dergleichen zu sehen. Wenn derselbe Verfasser am gleichen Ort sagt, an keimenden Pflanzen lasse sich, bei einiger Vorsicht, jedes Bündel bis zum Keimlager zurückführen, so dürfte freilich daraus zu schliessen sein, dass Ch. Schiedeana sich anders verhalte als Ch. elatior und sich namentlich durch einfachere und leichter zugängliche Verhältnisse auszeichne.

Die Baststränge steigen, aus dem Blatt kommend, ziemlich radial-senkrecht in der Rinde nach unten. In tangentialer Richtung weichen sie mehr von der Verticallinie ab, was namentlich aus dem Umstande hervorzugehen scheint, dass die Vereinigungen in radialer Richtung selten, diejenigen in tangentialer Richtung dagegen sehr häufig sind. Die Stränge vereinigen sich aber nicht blos nach unten, sondern sie spalten sich auch; und zwar kann ein einziger auf einem sehr kurzen Verlaufe durch Spaltung in 6 und mehr Stränge übergehen. Diese Verschmelzungen und Theilungen hängen namentlich auch mit dem Umstande zusammen, dass die Rinde stellenweise viel mächtiger und reicher an Baststrängen ist.

Von andern Palmen untersuchte ich nur einen kleinen Seitenspross von Phoenix sylvestris Roxb. In der Terminalknospe war auch hier der schiefe Verlauf der Stränge deutlich; aber sie schienen nach 2 entgegengesetzten Richtungen geneigt zu sein, und jedenfalls ist die Anordnung viel complizirter als bei Chamaedorea. Ob aus dieser schiefen Stellung ein spiraliger Verlauf auch für die übrigen Palmen gefolgert werden könne, ist mir um so eher zweifelhaft, als Schacht (Anat. u. Phys. I, 328) anführt, es sei ihm bei einer etwa 5 Fuss langen und 2 Zoll starken Diele aus der Mitte des Stammes von Caryota urens mehrfach gelungen, einzelne zu den Blättern gehende starke Gefässbündel von ihrer Austrittsstelle durch die Rinde bis zur Basis des Stammes zu verfolgen; was natürlich eine genau tangential-senkrechte Richtung beweist.

Schacht (Anat. u. Phys. I, 310) sagt, die Ursache des bogenförmigen Verlaufes der Gefässbündel liege in dem Verdickungsring; dieselben beschreiben nämlich bei der Bildung des Blattes kaum eine krumme Linie, und erst später, zufolge des durch den Cambiumring verursachten Dickenwachsthums, einen starken Bogen, indem sie aus der Mitte des Stammes kommen. Diese Theorie ist für Chamaedorea sicher unrichtig; denn 1) kommt, wie ich früher schon gesagt habe (Pag. 21), der Verdickungsring bei ihr gar nicht vor, und 2) entspricht den Prämissen weder der oft unregelmässige, bald aus- bald einwärts biegende Verlauf des einzelnen Blattspurstrangs, noch der Umstand, dass nicht selten von 2 gleichzeitig (also nach der Theorie auch in gleicher Entfernung vom Centrum, weil im Cambiumring) entstehenden Strängen der eine tief, der andere wenig tief in's Mark eindringt, ferner dass 2 Stränge ungleichen Alters einen gleich grossen Bogen in radialer Richtung beschreiben können. Ueberhaupt muss der Verlauf der Stränge mit Rücksicht auf die mannigfaltigen und verschiedenartigen Erscheinungen ihrer tangentialen und radialen Abweichung als ein bis auf einen gewissen Punkt von allgemeinen Ursachen ganz unabhängiger bezeichnet werden.

Cordyline congesta Steud.

Laubtriebe. Die Divergenz der Blattspirale in der Terminalknospe beträgt im Mittel 163—164° (am ausgebildeten Stamm von Calodracon Jacquini $163^{7}/_{11}{}^{\circ}$). Von den zahlreichen Strängen der Blattscheide entsteht zuerst der mediane; dann folgen rechts und links die Stränge des äussern Kreises. In gleicher Weise beginnt darauf die Bildung des zweiten (innern) Kreises in der Mitte und schreitet nach rechts und nach links hin fort.

Der Verlauf der Blattspuren stimmt insofern mit Chamaedorea überein, als der mediane und die ihm zunächst liegenden grössern Stränge am tiefsten in das Mark eindringen, während die kleinern und die dem Rande mehr genäherten in radialer Richtung kleinere Bögen beschreiben. Bei Chamaedorea aber bilden die grössern Stränge den innern, bei Cordyline den äussern Kreis in der Blattscheide. Daher kreuzen sich bei letzterer Pflanze die der gleichen Blattspur angehörigen Stränge, wenn dieselben in den Stengel eintreten.

Was das Verhältniss der successiven Blattspuren betrifft, so scheint es das nämliche zu sein wie bei den Palmen, und daher bei Projection auf eine radial-senkrechte Ebene eine regelmässige Kreuzung der homologen Stränge zu zeigen. — Auch mit Rücksicht auf die tangentiale Abweichung der Blattspuren verhält sich Cordyline ähnlich wie Chamaedorea. Die meisten Stränge haben einen spiraligen, unter sich und mit der Blattspirale homodromen Verlauf. Einige aber gehen tangential-senkrecht nach unten, oder beschreiben eine Spirallinie mit entgegengesetzter Wendung; dahin gehören vorzüglich diejenigen des anodischen Randes.

Die Fibrovasalstränge, deren Anordnung eben geschildert wurde, sind diejenigen, welche als Cambium sich aus dem Urmeristem ausgeschieden haben. Diejenigen, welche aus dem Cambiumring entstehen (Pag. 21—22), scheinen nicht etwa die untere Fortsetzung der erstern zu sein, sondern ein besonderes System für sich zu bilden. Sie haben sowohl in radialer als in tangentialer Richtung einen etwas schiefen Verlauf und bilden, in Folge vielfacher Vereinigungen in beiden Richtungen, ein Netz mit verlängerten Maschen.

Calodracon Jacquini Göpp.

Wurzelstock. Der Stamm endigt nach unten in mehrere Aeste, welche senkrecht in die Erde gehen und sich weiter verzweigen. Dieser abwärts wachsende Theil der Dracaenen wird gewöhnlich als Wurzel betrachtet, und Mirbel (Ann. sc. nat. III, 3, pag. 324) vergleicht ihn ausdrücklich der Pfahlwurzel der Dicotyledonen. Diese Deutung ist indessen unrichtig; das ganze wurzelähnliche Gebilde gehört dem Stammgerüst an. An jeder Spitze desselben befindet sich eine aus Blättern gebildete Terminalknospe; die Abbildung von Mirbel (l. c. Pl. 13) ist entweder unrichtig, oder zeigt verletzte Enden. Die Blätter bleiben aber klein und schuppenförmig; sie werden nicht über 2 Mill. M.

gross. Ihre Stellung ist die nämliche wie am Stamm; ich fand ihre Divergenz in der Terminalknospe im Mittel 170° (am entwickelten Stamm beträgt sie $163\,{}^{7}/_{11}{}^{\circ}$). Die Blätter an den Enden des Wurzelstockes verhalten sich wie die Scheiden der Stammblätter; ihre Insertion umgiebt den Spross ringförmig; sie sind ebenfalls eingerollt; aber die Deckung (am Stengel deckt der kathodische Rand den anodischen) scheint hier nicht constant zu sein. Unmittelbar hinter dem Scheitel gehen sie in Verwesung über, und lassen eine ringförmige Narbe zurück.

In jedes Blatt treten 3 Fibrovasalstränge aus; dieselben gehen in dem Stammtheil nach innen und oben (basipetal) und bilden bald mit den übrigen Strängen ein Netz, in welchem es nicht möglich war, weiter eine bestimmte Ordnung zu erkennen. Eine ziemlich constante Erscheinung sind horizontal liegende Gefässbögen, welche zwischen dem Centrum und der Peripherie sich befinden, und zu den Blattspuren in einem bestimmten Verhältniss der Anordnung zu stehen scheinen. — Auf Längsschnitten durch ältere Theile sieht man einzelne Stränge, die aus dem Innern des Markes kommen und bogenförmig durch das Gefässnetz in die Rinde ausgehen, wo sie in den Blattnarben endigen.

Calodracon zeigt uns also eine Pflanze mit einfachem überirdischem Stamm und vollständiger unterirdischer Krone, deren Zweige wurzelähnlich senkrecht nach unten wachsen, und den Wurzeln nicht blos im äussern Ansehn, sondern ohne Zweifel auch in der Function gleichen. Morphologisch gehören sie aber dem Stammgerüst an. Sie stimmen mit dem überirdischen Stamme auch darin überein, dass sie durch einen Cambiumring unbegrenzt in die Dicke wachsen*). Die Aeste des Wurzelstockes erzeugen Adventivknospen, welche nach oben sich entwickelnd zu Laubstämmen werden; sie bilden ferner seitliche ächte Wurzeln, welche mit Rücksicht auf Wachsthum und Structur sich genau wie die Wurzeln der Palmen verhalten; auch die Ausbreitung der Fibrovasalstränge dieser Wurzeln in dem Gefässnetz des Stammtheils erinnert ganz an die gleiche Erscheinung bei den Palmen.

---

*) Ich habe nur Calodracon untersucht. Schacht (Anat. u. Phys. I, 305) sagt, bei monocotyledonen Pflanzen, selbst bei Dracaena erlische die Thätigkeit des Cambiumrings in den Wurzeln frühzeitig, welche deshalb nie eine bedeutende Stärke erreichen. Dieser Beobachter hat ohne Zweifel die ächten Wurzeln untersucht; denn es ist nicht wahrscheinlich, dass zwei so nahe verwandte Gattungen rücksichtlich des Wurzelstockes sich abweichend verhalten sollten.

Erklärung der Tafeln.

Die in ( ) eingeschlossenen Zahlen geben die Vergrösserung an. Alle Querschnitte sind mit der Camera lucida oder dem Sömmering'schen Spiegelchen gezeichnet.

Taf. I.

Fig. 1 — 3. *Psilotum triquetrum Sw.*

1 (15). Längsschnitt durch das Ende eines dichotomisch getheilten Astes, so geführt, dass in der gezeichneten Hälfte alle Gefässstränge befindlich waren. Im untersten Ende kommen deren 2 vor, welche durch Theilung des einen in 3 übergehn. In jeden Gabelzweig treten 2 Stränge ein, indem einer der 3 sich noch einmal getheilt hat.

2 (30). Querschnitt durch den Fibrovasalcylinder eines ältern Stämmchens. Die vorspringenden dunklern Ecken enthalten die ursprünglichen Vasalstränge.

3 (30). Querschnitt durch den untersten stielrunden Theil eines Stämmchens. Senkrecht über den 5 Ecken des Fibrovasalcylinders befinden sich die Blätter I und VI, III, V, II und VII, IV.

Fig. 4, 5. *Hippuris vulgaris Lin.*

4 (50). Längsschnitt durch das Stengelende. a, b Gefässstränge, die von dem stammeigenen Fibrovasalcylinder aus in die Blätter wachsen.

5 (30). Querschnitt durch einen ausgebildeten Stengeltheil. Im Innern des Fibrovasalcylinders befinden sich wenige zerstreute Gefässe; nach aussen sind dieselben in einen Ring zusammengedrängt, von welchem die Blattstränge ausstrahlen, einzelne sich theilend und 2 Blätter versorgend.

Fig. 6, 7. *Salisburia adiantifolia Sm.*

6 (20). Querschnitt durch das Ende eines Zweiges. a, b, c, d, e, f Spuren der obersten Blätter.

7 (20). Querschnitt durch die Terminalknospe des nämlichen Zweiges. b, c, d, e, f Blätter, deren Spuren in Fig. 6 die gleiche Bezeichnung tragen. v Stammspitze.

Fig. 8, 9. *Selaginella hortensis Mett.*

8. Schematische Darstellung des Gefässstrangverlaufes. a, b die beiden Stränge im Stengel. c, e Oberblätter. d, f Unterblätter.

9. Schematische Darstellung des Querschnittes. Bezeichnung wie in 8.

Fig. 10. *Marsilea quadrifolia Lin.*

10 (20). Ganzer Gipfel, durch Kochen in Kalilösung durchsichtig gemacht. a Gefässstrang für das untere, b für das zweite Blatt; c reicht bis an den Grund des dritten; d Spurstrang für das vierte Blatt, das noch nicht sichtbar ist. d liegt tiefer als c, also zwischen b und c. e und f stammeigene oder Radicalstränge; f liegt höher als e. g Strang in eine Wurzel.

Taf. II.

Fig. 1, 2. *Ephedra vulgaris Rich.*

1 (45). Senkrecht-halbirtes Zweigende, von innen gesehen. m ein Blatt des untersten Paars, abgekehrt; n, o die beiden Blätter des zweiten; p ein Blatt des dritten Paars, abgekehrt; q, r die beiden Blätter des vierten; s das abgekehrte Blatt des fünften; t, u die beiden Blätter des sechsten Paars. v Stammspitze. a — a' und b — b' die beiden Gefässstränge des Blattes m; a und b im Stengel, a' und b' im Blatte. c — c — c' und d — d — d' der eine Strang für die Blätter n und o; c — c und d — d im Stengel, c' und d' in den Blättern. e — e — e' und f — f — f' die beiden Stränge für das Blatt p; e — e und f — f im Stengel, e' und f' im Blatt. g — g — g' und h — h — h' der eine Strang für die Blätter q und r; g — g und h — h im Stengel, g' und h' in den Blättern. — i, k, l Gefässgürtel in den Stengelknoten. In dem Knoten unter g′ und h′ ist derselbe noch nicht vorhanden. — Die andere Hälfte des Zweigendes war vollkommen gleich.

2 (45). Querschnitt durch das drittoberste gefässführende Internodium eines Zweiges (entsprechend dem Stengelglied zwischen i und k in Fig. 1). a und b, c und d die beiden Spuren des eigenen; e und f, g und h die beiden Spuren des erstobern Blattpaars.

Fig. 3 — 5. *Juniperus communis Lin.*

3 (45). Querschnitt durch ein Zweigende der männlichen Pflanze, dicht über dem Knoten. a, b, c die Blätter dieses letztern, jedes mit einem Gefässstrang; k, k, k ein Paar von Strängen im Winkel jedes Blattes, für das erste

Blattpaar der Axillarzweige. d, e, f die Spuren des nächstobern Blattquirls. g, h, i die in 2 Schenkel gespaltenen Spuren des zweitobern Quirls.

4 (45). Querschnitt dicht unterhalb des nämlichen Knotens, über welchem der Querschnitt in Fig. 3 geführt war. a, b, c die Stränge der eigenen Blätter (a, b, c in Fig. 3). d, e, f die Stränge für den erstobern Quirl, mit denen sich die Schenkel der Spuren des zweitobern vereinigt haben; jede der 3 breitgezogenen Gefässmassen entspricht einer 3strängigen Gruppe von Fig. 3.

5. Schematische Darstellung des Verlaufes der Blattspurstränge, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p die Stränge der 5 obersten Blattquirle.

Fig. 6—8. *Sarothamnus scoparius Koch.*

6 (55). Querschnitt durch die Terminalknospe eines Zweiges. 0 bezeichnet die Stelle des untersten Blattes, welches weggelassen wurde. 1, 2, 3, 4, 5 successive Blätter. 6, 7 die Stellen, wo die folgenden Blattanlagen sich bilden werden.

7 (55). Querschnitt durch das abwärts 9. gefässführende Internodium des nämlichen Zweiges, von welchem in Fig. 6 die Endknospe dargestellt ist. a, b, c, d, e, f, g, h die Spuren der nächsten 8 Blätter; der Strang des 9. Blattes reichte noch nicht so tief hinab.

8 (55). Kreis der Blattspurstränge aus dem abwärts 18. gefässführenden Internodium eines Zweiges. a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m, n, o, p Spuren der nächsten 15 Blätter.

Fig. 9. *Lepidium sativum Lin.*

9 (20). Querschnitt durch das abwärts 10. gefässführende Internodium einer Keimpflanze, welche einige Blüthenanlagen an der Spitze hatte. a, b, c, d, e, f, g, h, i Spuren der nächsten 9 Blätter; die des obersten endigte höher. In der Blattspur a hat sich der Medianstrang getheilt; in der Spur e hat sich der mediane mit einem lateralen vereinigt; in f sind alle 3 mit einander verschmolzen; g, h, i sind ebenfalls 1strängig.

Taf. III.

Fig. 1—5. *Iberis amara Lin.*

1 (30). Querschnitt durch die Terminalknospe. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 die successiven Blätter.

2 (15). Querschnitt durch das abwärts 23. gefässführende Stengelglied einer Keimpflanze, die noch keine Blüthen angelegt hat. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 die Spuren der aufwärts successiven Blätter. a, a, a, a schiefe Verbindungsstränge.

3 (15). Querschnitt durch das abwärts 19. gefässführende Stengelglied der nämlichen Pflanze wie Fig. 2. Die Bezeichnung ist die gleiche. Man erkennt die Blattspuren bis zur aufwärts 14. a, a schiefe Verbindungsstränge. Der Lage nach könnte man das eine a für die Blattspur 15 halten, deren Stelle es einnimmt; allein 15 hat sich schon ein Internodium höher mit 10 vereinigt. Diese Verbindungsstränge erscheinen hier zum erstenmal; in den höhern Internodien mangeln sie.

4 (15). Querschnitt durch das abwärts 17. gefässführende Stengelglied der gleichen Pflanze wie Fig. 2 und 3. Die Zahlen bezeichnen auch hier die nämlichen Stränge; man unterscheidet bis zur aufwärts 16. Blattspur.

5. Schematische Darstellung des Strangverlaufes (in dem Zweig, dessen Querschnitte in Fig. 2, 3, 4 gezeichnet sind) auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen. Die kleinen Verbindungsstränge in den untern Gliedern (a, a in Fig. 3 und 4) sind weggelassen.

Fig. 6, 7. *Scopolina atropoides Schult.*

6 (10). Querschnitt durch einen sympodialen Ast; er entspricht dem untern Ende von Fig. 7. Die Anordnung der Stränge und ihre Bezeichnung ist die nämliche, mit dem Unterschied, dass p und n verschmolzen sind, und dass zwischen a und c ein schwacher Verbindungsstrang (z) sichtbar ist.

7 (15). Darstellung des Strangverlaufes eines sympodialen Astes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Hälften des Längsdurchschnittes wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c und d e f Blattpaar am ersten Knoten des Sympodiums, i k l und m n o am zweiten, r s t und u am dritten Knoten. a b c oberes Blatt des primären Sprosses und Tragblatt des secundären; g h Blüthenstiel, in den der primäre Spross ausgeht. d e f unteres zweigloses Blatt des secundären Sprosses; k i l oberes Blatt desselben und Tragblatt des tertiären; p q Blüthenstiel, mit dem der secundäre Spross endigt. m n o unteres zweigloses Blatt des tertiären; r s t oberes Blatt desselben und Tragblatt des quartären Sprosses; v x Blüthenstiel, der den tertiären Spross abschliesst. u und y die medianen Stränge der Blätter vom quartären Spross, u unteres zweigloses und y oberes knospentragendes Blatt. Die lateralen Stränge dieser beiden Blätter und die Stränge für den Blüthenstiel, der den quartären Spross begrenzt, sind noch nicht sichtbar.

Taf. IV.

Fig. 1, 2. *Cocculus laurifolius DC.*

1 (10). Querschnitt durch den Zweig, dessen Strangverlauf in Fig. 2 dargestellt ist, und zwar durch das Internodium unter Blatt 1. Die Bezeichnung ist die nämliche. a^1, b^1, d^1, e^1, a^2, a^3, b^3, a^5 sind eigenläufige Stränge; die übrigen alle sind mit andern vereintläufig.

2. Schematische Darstellung des Strangverlaufes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt; einer der untersten ist in Fig. 1 gezeichnet. a, b, c, d, e die 5 Spurstränge eines Blattes; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 die successiven Blätter. Die Bezeichnung am untern Ende ist die nämliche wie in Fig. 1.

Fig. 3, 4. *Ribes rubrum Lin.*

3 (15). Querschnitt durch das abwärts 5. gefässführende Internodium des Laubzweiges, dessen Strangverlauf in Fig. 4 dargestellt ist. Die Bezeichnung ist die nämliche. r, r die beiden Schenkel eines Blattspurstranges.

4. Schematische Darstellung des Blattspurverlaufes von einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; sie wurde nach successiven Querschnitten ausgeführt, von denen einer in Fig. 3 gezeichnet ist. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s, t Spuren der 7 obersten Blätter; von der letzten ist erst ein Theil des Medianstrangs sichtbar.

Fig. 5, 6. *Prunus avium Lin.*

5 (20). Querschnitt durch das abwärts 6. gefässführende Internodium eines Laubzweiges. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 6.

6 (20). Darstellung des Blattspurverlaufes von einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q die Spuren der successiven Blätter; von der obersten ist erst der Medianstrang vorhanden.

Taf. V.

Fig. 1, 2. *Lupinus luteus Lin.*

1 (10). Verlauf der Spurstränge in einem Keimpflänzchen, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a, b die zweisträngigen Spuren der beiden Cotyledonen. c, d die 3strängigen Spuren der beiden Primordialblätter; f, e die 3strängigen Spuren des folgenden Blattpaars.

2 (10). Querschnitt durch die Terminalknospe eines Keimpflänzchens. I, II Cotyledonen; I wurde in der Zeichnung weggelassen. III, IV Primordialblätter oder erste Laubblätter. V, VI zweites Laubblattpaar; von dem dritten ist erst VII angelegt.

Fig. 3, 4. *Lupinus Lehmanni Hort.*

3 (10). Verlauf der Spurstränge eines Keimpflänzchens auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a und b die 2strängigen Spuren der Cotyledonen. c d e und

f g h die 3strängigen Spuren des ersten Laubblattpaars. i k l und m n o die Spuren des zweiten Blattpaars; p und q die Spuren des dritten Paars. Von den Spuren des vierten Paars sind erst die Medianstränge r und s theilweise gebildet. u Stränge für die Axillarknospen der Cotyledonen. v, x der zweite Schenkel der Medianstränge des zweiten Laubblattpaars.

4 (10). Querschnitt durch das über den Cotyledonen befindliche Stengelglied. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 3.

Fig. 5—7. *Passiflora Vespertilio Lin.*

5 (20). Querschnitt durch ein Zweiginternodium. Die Bezeichnung der Stränge ist die nämliche wie am Umfange von Fig. 6 und am Grunde von Fig. 7.

6. Schematische Darstellung des Strangverlaufes der 5 obersten gefässführenden Glieder eines Zweiges, in der Horizontalprojection, nach successiven Querschnitten ausgeführt. a b c, f g h, l m n, q r s, t u v die 3strängigen Spuren der successiven Blätter; vom obersten Blatt ist erst der Medianstrang x gebildet. d e, i k, o p die beiden Stränge für die axillären Ranken.

7. Schematische Darstellung des Strangverlaufes des nämlichen Zweiges wie Fig. 6, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen. Die Bezeichnung ist die gleiche.

Für die beiden schematischen Darstellungen wurde die Divergenz ²/₅ gewählt, was nicht mit den Abständen in der Terminalknospe übereinstimmt, und die relativen Entfernungen der Spurstränge etwas verändert.

Taf. VI.

Fig. 1, 2. *Saururus cernuus Lin.*

1 (20). Querschnitt durch den abwärts dritten gefässführenden Knoten eines Stengels. A B C D E F G die Stränge, die in das Blatt ausgehn. a′ b′ c′ d′ e′ f′ g′ die Spur des erstobern Blattes. a b c d e f die Spurstränge des zweitobern Blattes, jeder in 2 Hälften getheilt. Zwischen den beiden Strangkreisen sieht man einen Theil des bogenförmigen Netzes.

2 (20). Querschnitt durch den untern Theil des Internodiums, der zu dem Knoten von Fig. 1 gehört. Die Bezeichnung ist die nämliche. Die äussern Stränge sind noch nicht ganz in den Kreis eingetreten; A, B, C haben sich bereits gespalten. g′ hat sich in 2 Theile getrennt, von denen jeder mit einer Hälfte von a sich vereinigt hat. Die beiden Hälften von c haben sich an d′ und f′ angeschlossen. Die Hälften von b, d, e, f dagegen sind wieder grösstentheils mit einander verschmolzen.

Fig. 3. *Liriodendron tulipiferum Lin.*

3 (20). Querschnitt durch das abwärts dritte gefässführende Internodium eines Laubzweiges. A B C D E F G H Spur des nächsten, a b c d e f g h des zweitnächsten Blattes. A, a Medianstränge; H, h die vereintläufigen Randstränge. *α* Medianstrang des dritten Blattes.

Fig. 4. *Lathyrus Aphaca Lin.*

4. Schematische Darstellung des Verlaufes der Blattspuren in einem Zweigende, in der Horizontalprojection. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p Spuren der successiven Blätter; q Medianstrang des obersten.

Fig. 5—7. *Hertia crassifolia Less.*

5. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in dem Ende eines Laubtriebes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten und nach Längsschnitten. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s, t u v Spuren von 7 successiven Blättern. Von dem obersten ist erst der Medianstrang x theilweise gebildet.

6 (14). Querschnitt unter dem abwärts dritten gefässführenden Knoten. a b c Spur des obersten Blattes, der Medianstrang a in 2 Schenkel gespalten. d e f Spur des zweitobersten, g h i des drittobersten Blattes.

7 (14). Querschnitt durch den zweiten gefässführenden Knoten des gleichen Zweiges wie Fig. 6. Die Bezeichnung ist die nämliche.

Taf. VII.

Fig. 1—3. *Lathyrus Pseudaphaca Boiss.*

1 (45). Querschnitt durch das abwärts dritte gefässführende Internodium eines Laubsprosses. Die Bezeichnung ist die nämliche wie im drittuntern Glied von Fig. 3. l m n Spur des nächsten, o p q des zweitnächsten Blattes. s und t die beiden lateralen Stränge der dritten Spur; die Schenkel ihres Medianstranges sind mit p und q vereintläufig.

2 (25). Querschnitt durch einen andern Zweig; die Bezeichnung ist die nämliche wie im zweituntern Glied von Fig. 3. f g h Spur des nächsten Blattes, i k Stränge für den axillären Blüthenstiel. l m n Spur des zweitnächsten Blattes. p und q die beiden lateralen Stränge der dritten Spur; die Schenkel des medianen sind mit m und n vereintläufig.

3. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in der durchsichtig gedachten Stengelspitze; die zugekehrten Stränge sind dunkler gehalten. a b c, f g h, l m n, o p q, r s t Spuren der successiven Blätter; u Medianstrang des obersten. d e, i k Stränge für die axillären Blüthenstiele.

Fig. 4. *Lathyrus Aphaca Lin.*

4 (20). Querschnitt durch das abwärts fünfte gefässführende Glied eines Stengels. a b c Spur des nächsten, d e f des zweitnächsten Blattes; mit e und f sind die Spuren der höhern Blätter verschmolzen.

Fig. 5—7. *Lathyrus odoratus Lin.*

5. Schematische Darstellung des Strangverlaufes einer Stengelspitze in der Horizontalprojection, nach Quer- und Längsschnitten ausgeführt. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p die Spuren der 5 obersten Blätter.

6. Querschnitt durch ein Stengelinternodium; die Bezeichnung ist die nämliche wie am Umfange von Fig. 5. a b c die Spur des eigenen, d e f des erstobern Blattes. g l und g m die Schenkel des Medianstranges der zweiten Spur mit den lateralen der dritten, h k und i k die Schenkel des Medianstranges der dritten mit den lateralen der zweiten Spur vereintläufig.

7. Schematische Darstellung der Spurstränge einer Stengelspitze auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach Längs- und Querschnitten ausgeführt. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p successive Blattspuren; q Medianstrang der obersten Spur.

Taf. VIII.

Fig. 1, 2. *Lathyrus Nissolia Lin.*

1 (55) Querschnitt durch eine Terminalknospe. 1, 2, 3, 4, 5 die successiven Blätter. a Mediannerv von Blatt 1; b c, d e, f g, h i, k l, m n die seitlichen Nerven, wie sie nach einander entstanden sind. o p q die 3 ersten Stränge von Blatt 2, durch Gefässbögen verbunden. p^1, p^2, p^3 die Blüthenstiele in den Achseln von Blatt 1, 2, 3. s Strang für das untere Kelchblatt, t u für die beiden mittlern; die Stränge für die beiden obern Kelchblätter sind noch nicht sichtbar. In p^2 sieht man erst den Spurstrang des untern Kelchblattes. r accessorischer Laubzweig; derjenige im Winkel von Blatt 1 ist erst bei tiefern Querschnitten sichtbar; derjenige in der Achsel von Blatt 3 ist noch nicht angelegt. v Stengelspitze.

2 (55). Querschnitt durch eine andere Stengelspitze, ziemlich tiefer geführt als in Fig. 1. a Mittelnerv des Blattes; b c, d e, f g, h i, m n die seitlichen Nerven in der Reihenfolge, wie sie entstanden sind, die mittlern durch Gefässbögen verbunden. o p q Spurstränge des folgenden Blattes im Stengelinternodium; o medianer, p und q die beiden lateralen Stränge. s t u Blüthenstiel; x y z accessorischer Laubzweig. s Spurstrang des untern Kelchblattes, t und u der beiden mittlern. x erstes, y zweites Blatt des Laubzweiges, z dessen Spitze.

Fig. 3—5. *Aristolochia Gigas Lindl.*

3 (15). Verlauf der Spurstränge in einer Stengelspitze, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, indem die beiden Längsschnitte in der Zeichnung vereinigt wurden. a b c, f g h, l m n, o p q, r s t, u v x successive Blattspuren; y Medianstrang der obersten Spur. d e, i k Axillarstränge des ersten und zweiten Blattes.

4 (20). Querschnitt unter einem Stengelknoten; die Bezeichnung ist die nämliche wie im untersten Internodium von Fig. 3. a die beiden Schenkel des Medianstrangs (sammt den beiden Anastomosen, welche denselben mit den Lateralsträngen verbinden); b, c die Lateralstränge; d, e die Axillarstränge des Knotens. f Medianstrang der erstobern Spur, eben in Theilung begriffen; g, h die Lateralstränge derselben. m, n die Lateralstränge der zweitobern, p, q diejenigen der drittobern Blattspur.

5 (20). Querschnitt über dem gleichen Knoten wie Fig. 4; die Bezeichnung ist die gleiche. f g h Spur des nächsten, m n des zweitnächsten, p q des dritten, s t des vierten Blattes.

Fig. 6—8. *Aristolochia Clematitis Lin.*

6 (20). Querschnitt dicht unter einem Stengelknoten; die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 8. a b c die Blattspurstränge und d e die Axillarstränge, die an diesem Knoten austreten. f g h erstobere Blattspur; i k die dazu gehörigen Axillarstränge. l m n zweitobere Blattspur, o p die entsprechenden Axillarstränge (o mit l verschmolzen).

7 (20). Querschnitt wenig tiefer als Fig. 6. Die Bezeichnung ist die gleiche, und entspricht auch ganz derjenigen am Grunde von Fig. 8. l o hat sich mit h, m mit k, n mit i, p mit g vereinigt; ebenso sind die beiden Stränge von f mit einander verschmolzen.

8 (17). Verlauf der Spurstränge in einer Stengelspitze auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, indem die beiden Längsschnitte in der Zeichnung vereinigt wurden. a b c, f g h, l m n, q r s, v x y successive Blattspuren. d e, i k, o p, t u Axillarstränge der 4 untern Knoten.

Taf. IX.

Fig. 1—3. *Ampelopsis hederacea DC.*

1 (16). Verlauf der Blattspurstränge eines Zweigendes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c, e f g, h i k, m n o, q r s, t u v x, y z α β, γ δ ε ζ, η ϑ ι die successiven Blattspuren. d 3 Stränge für die Ranke, welche dem ersten Blatt (a b c) gegenüber steht. l 3 Stränge für die dem dritten Blatt (h i k) opponirte Ranke. p 2 Stränge für die dem vierten Blatt (m n o) gegenüberstehende Ranke.

2 (16). Verlauf der Blattspurstränge eines Zweigendes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c d, f g h i, k l m n, p q r, t u v, x y z die successiven Blattspuren. e, o, s Gruppen von 3, 3 und 2 Strängen für die dem ersten (a b c d), dritten (k l m n) und vierten (p q r) Blatte gegenüberstehenden Ranken.

3 (22). Querschnitt durch ein Zweigende. a b c d Spur des nächsten Blattes, e 3strängige Spur der demselben gegenüberstehenden Ranke. f g h i Spur des zweitnächsten Blattes.

Fig. 4, 5. *Alsine laricifolia Wahlenb.*

4 (45). Querschnitt durch die Terminalknospe, a b c, d e f die Gefässstränge des ersten Blattpaars, g h i, k l m des zweiten; n, o und p, q die Medianstränge des dritten und vierten Paars; s, r fünftes Blattpaar. v Stengelspitze. a, g, n, p, r sind die zweigtragenden oder Anfangsblätter.

5 (45). Querschnitt durch das abwärts dritte gefässführende Internodium des gleichen Stengelendes. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 4. t und u das erste Blattpaar des Zweiges in der Achsel von Blatt a.

Taf. X.

Fig. 1. *Vitis vinifera Lin.*

1 (20). Verlauf der Spurstränge in einem Zweigende auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c d e Spur des ersten Blattes; f 3 Stränge für die Axillarknospe; g 3 Stränge für die blattgegenständige Ranke. h i k l m zweite Blattspur; n 3 Stränge für die Axillarknospe. o p q r s Spur des dritten Blattes; t 3 Stränge für die demselben gegenüberstehende Ranke. u v w x y vierte Blattspur; z 3 Stränge für die blattgegenständige Ranke. $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta\,\varepsilon$ vierte und $\zeta\,\eta\,\vartheta\,\iota\,\varkappa$ fünfte Blattspur.

Fig. 2—4. *Phaseolus vulgaris Lin.* (Fig. 2 *Var. nanus*).

2 (30). Verlauf der Spurstränge in einem Zweigende auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c d, f g h i, l m n o, q r s t, u v w x die 4strängigen successiven Blattspuren; von der obersten Spur sind erst 2 Stränge y z sichtbar. e, k k, p Stränge für die Axillarzweige der 3 untern Blätter.

3 (6). Verlauf der Spurstränge in einem Keimpflänzchen auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a und b die beiden Cotyledonarspuren. c, d die Medianstränge für die Primordialblätter; e, f, g, h die vereintläufigen Lateralstränge; k und i i die 5 in den Blattstiel eintretenden Stränge. l, m, o, p, q, r 6 Stränge,

die sich durch das Internodium über den Primordialblättern fortsetzen und zu den höhern Blättern gehen.

4. Schematische Darstellung des Strangverlaufes im Knoten der Primordialblätter, in der Querschnittsansicht. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 3.

Fig. 5. *Platanus occidentalis Lin.*

5 (30). Querschnitt durch das abwärts vierte gefässführende Internodium eines Zweiges. A B C D E F G H I ganze Spur des ersten Blattes; A Medianstränge; B C D Petiolarstränge der stärkern, E F der schwächern Hälfte; G H J Stipularstränge. R 3 Stränge für die Axillarknospe. a' b' c' d' e' f' g' Spur des zweiten Blattes; a' a' Medianstränge, der dritte ist mit H vereinigt; b' c' c' d' Petiolarstränge der stärkern, e' f' der schwächern Hälfte; von den Stipularsträngen ist blos noch g' sichtbar. a b c d e f Spur des dritten Blattes. a Medianstrang mit f' verschmolzen, b c d Stränge der stärkern, e f der schwächern Hälfte; c ist in 2 Schenkel getheilt, von denen einer sich mit g' vereinigt hat.

Taf. XI.

Fig. 1. *Menyanthes trifoliata Lin.*

1 (12). Querschnitt durch ein Stengelglied. A B C D E F G H J N O P Spur des eigenen Blattes; die punctirten Linien bezeichnen die Stellen, wo diese Stränge weiter abwärts in den Kreis eintreten, zu welchem Behufe sich der Strang e und derjenige zwischen a und n spaltet. a, n, b, p, c die noch eigenläufigen Stränge der erstobern Blattspur; d, f, g, e, o Stränge der nämlichen Blattspur, die sich bereits mit andern vereinigt haben.

Fig. 2. *Dianthus plumarius Lin.*

2 (25). Verlauf der Blattspurstränge in einer Stengelspitze, die noch keine Blüthen angelegt hat, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m die Spuren der obersten 5 Blattpaare.

Fig. 3, 4. *Spergula arvensis Lin.*

3 (15). Querschnitt durch das abwärts fünfte gefässführende Internodium eines Keimpflänzchens. Die Bezeichnung ist die nämliche wie am Grunde von Fig. 4. a b und g i f h die Stränge, die am eigenen Knoten ausgehen; m l n und r q s die Stränge für den erstobern Knoten. x die eine Spur des zweitobern Blattpaars, die andere ist mit s vereintläufig.

4 (15). Verlauf der Spurstränge in dem Stengelende eines Keimpflänzchens, das noch keine Blüthen angelegt hat, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von

innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a und f Stränge des ersten Blattpaars; c b und h g Stränge für das erste, e d und k i für das zweite Blattpaar der Axilläräste. l und q Stränge des zweiten Blattpaars, n m und s r Stränge für das erste, p o und u t für das zweite Blattpaar der Axilläräste. v x, y z, $\alpha\ \beta$ Spurstränge der 3 obersten Blattpaare. — Der Querschnitt durch das untere Ende ist in Fig. 3 abgebildet, und mit der nämlichen Bezeichnung versehen.

Fig. 5 — 7. *Cerastium frigidum Biebrst.*

5 (20). Querschnitt durch einen Zweig des Blüthenstandes. Die Bezeichnung stimmt mit Fig. 6 und 7 überein. g, k Stränge des dem Zweige angehörenden Blattpaars; n o p Blüthenstiel, in den derselbe endigt. n Strang für das unpaare Kelchblatt, o und p für die beiden Kelchblattpaare. u s i t x v r h q und v x t l s u q m r die Axillarzweige im Winkel der Blätter g und k. i h und l m die Stränge für die beiden Vorblätter der Axillarzweige; u v x die Stränge für die terminalen Blüthenstiele derselben; q r s t die Stränge für die Vorblätter der in den Achseln der Blätter h, i, m, l befindlichen Zweige.

6 (30). Verlauf der Spurstränge in dem Ende eines Stengels, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b, c d, e f, g k Stränge der 4 obersten Laubblattpaare. h i und l m Stränge für die Axillarzweige in den Winkeln der Blätter g und k; sie gehen in die Vorblätter derselben. n o p Stränge des terminalen Blüthenstiels; n für das unpaare Kelchblatt.

7 (20). Querschnitt durch den Grund des obersten (unter dem Blüthenstiel befindlichen) Internodiums eines Stengels. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 6. e und f Stränge des zweitobersten, g und k des obersten Laubblattpaars (erstere in der scheidenförmigen Basis des Blattpaars). n o p Stränge, die in den terminalen Blüthenstiel gehen. h i l m Stränge für die in den Winkeln der Blätter k und g befindlichen Zweige (resp. deren Vorblätter).

Fig. 8. *Vinca minor Lin.*

8 (25). Querschnitt durch das abwärts dritte gefässführende Glied eines Stengels. a und b Spurstränge des ersten, c und d des zweiten, e und f des dritten Blattpaars.

Taf. XII.

Fig. 1, 2. *Galium Mollugo Lin.*

1 (20). Verlauf der Blattspurstränge in einer Stengelspitze, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b, c d, e f, g h, i k die Stränge der 5 obersten Blatt-

paare. Die kleinen Stränge rechts und links neben a, b, c und d gehen in die Axillarzweige.

2 (22). Querschnitt durch einen Knoten des Stengelendes. a und b Stränge für die beiden Blätter, m n o p q r für die Nebenblätter; die letztern Stränge gehen aus sympodialen Gefässbögen ab.

Fig. 3. *Galium rubioides Lin.*

3 (36). Querschnitt durch die Terminalknospe. a b, c d und e f 3 successive Blattpaare; g und h die Stellen, wo die Blätter des vierten Paars sich bilden werden. m und n Nebenblätter zu a und b, o und p Nebenblätter zu c und d; q und r Nebenblätter zu e und f.

Fig. 4, 5. *Hypericum quadrangulum Lin.*

4 (20). Verlauf der Blattspurstränge in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b, c d, e f, g h die Spuren der successiven Blattpaare.

5 (15). Querschnitt durch das abwärts dritte gefässführende Internodium eines Stengels. Die Bezeichnung entspricht derjenigen von Fig. 4. c und d Spuren des eigenen, e und f des erstobern Blattpaars. g und h die 4 Schenkel der beiden Spurstränge vom zweitobern Paar.

Fig. 6. *Tecoma radicans Juss.*

6 (20). Verlauf der Blattspurstränge in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte sind in der Zeichnung vereinigt. a b, c d, e f, g h, i k Spuren der successiven Blattpaare. a und b, die 4 Stränge einer Spur sind theilweise verschmolzen. c, zwischen den 4 Spursträngen sind einige Verbindungsstränge eingeschoben. In f ist das Verhalten der 4 Spurstränge in der Blattbasis gezeichnet (desswegen reicht f höher hinauf als e). g, h die Blattspuren bestehen erst aus den beiden mittlern, in i und k erst aus einem der beiden mittlern Stränge.

Fig. 7, 8. *Bignonia serratifolia Vahl.*

7 (20). Querschnitt durch das abwärts zweite gefässführende Glied eines Stengels. e und f Blätter des erstuntern Knotens. g und h Spuren des eigenen, i und k Spuren des nächstobern Blattpaars.

8 (15). Querschnitt des abwärts fünften gefässführenden Internodiums des gleichen Stengels. a und b Spuren des eigenen, c und d des nächstobern Blattpaars. e und f die 4 Schenkel der zwei Spurstränge vom zweitobern Paar (e und f in Fig. 7).

Fig. 9. *Fraxinus excelsior Lin.*

9 (10). Senkrechter Durchschnitt durch die Stengelspitze. a Strang des abgekehrten Blattes vom ersten Knoten. b und c die Spuren der beiden Blätter vom zweiten Paare, im senkrechten Durchschnitt. d abgekehrtes Blatt vom dritten Knoten mit der Gefässausbreitung in der Spreite und der in 2 Schenkel aus einander weichenden Spur im Stengel. Die beiden Anlagen des vierten Paars mit der Stengelspitze liegen über der Basis von d.

Taf. XIII.

Fig. 1 — 3. *Antirrhinum majus Lin.*

1. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Keimpflänzchen, in der Horizontalprojection, nach successiven Querschnitten ausgeführt. I und II die 2strängigen Cotyledonarspuren, III und IV die 2 Stränge im Cauliculus, die mit den Cotyledonen abwechseln. ABC, DEF, GHJ, KLM, NOP, QRS, TUV, XYZ, abc, def, ghi, klm, nop, qrs Spuren von 7 Blattpaaren; von den Spuren des obersten Paares sind erst die Medianstränge t und x angelegt.

2 (18). Querschnitt durch das abwärts fünfte gefässführende Glied des nämlichen Keimpflänzchens mit der gleichen Bezeichnung wie in Fig. 1.

3. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Keimpflänzchen mit 3 Cotyledonen und 2 darauf folgenden 3zähligen Blattpaaren, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; nach successiven Querschnitten ausgeführt. a, b, c Cotyledonarspuren; r, s die beiden Stränge im Stengelchen. d, e, f die Spuren des Primordialblattquirls; g, h, i die Spuren des zweiten Quirls. k, l l die Spuren des nächsten, m, n des zweitnächsten, o, p des drittnächsten Blattpaars; q der Medianstrang des einen Blattes vom vierten Paar.

Fig. 4 — 7. *Anagallis arvensis Lin.*

4 (15). Querschnitt durch das ausgebildete Glied eines Stengels mit 3zähligen Blattquirlen. Die 6 Gefässstränge sind aus 12 ursprünglich getrennten (a b c d e f g h i k l m) durch Verschmelzung entstanden. a b, c d, e f die ursprünglichen Spurstränge für den eigenen, g h, i k, l m für den erstobern Blattquirl.

5 (50). Querschnitt durch ein junges Internodium eines Stengels mit opponirten Blättern. a b und c d die Spuren des eigenen, e f und g h des erstobern Blattpaars. Später vereinigen sich a f, e d, c h und g b.

6 (30). Querschnitt durch das junge Internodium eines Stengels mit 3zähligen Blattquirlen. a b, c d, e f Spuren des eigenen, g h, i k, l m des erstobern Quirls; m ist mit a vereint.

7 (20). Querschnitt durch das ausgebildete Glied eines Stengels mit 3zähligen Quirlen. Die Stranganordnung war ursprünglich die nämliche wie in

Fig. 6; jetzt haben sich die Stränge vereinigt; ihre Bezeichnung ist die gleiche wie in Fig. 6 (nur dass a und b mit einander vertauscht wurden).

Taf. XIV.

Fig. 1, 2, 4, 5. *Clematis Viticella Lin.*

1 (40). Ein Zweigende, von welchem die Blätter abgelöst, ein Theil der Rinde auf der zu- und abgekehrten Seite weggeschnitten, und das Gewebe durch Aetzkali und schwachen Druck durchsichtig gemacht wurde. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s Spuren dreier successiver Blattpaare; a, d, g, k, n, q Medianstränge. Von dem vierten Paar sind erst die beiden Medianstränge t und x angelegt. α β, γ δ das 5. und 6. Blattpaar. Die Medianstränge g, k, n und q spalten sich am Grunde in 2 Schenkel; alle übrigen Stränge des 2., 3. und 4. Knotens (h i, l m, o p, r s) biegen einseitig aus.

2. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Zweigende wie Fig. 1, in der Horizontalprojection. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s, t u v, x y z Spuren von 4 successiven Blattpaaren; von dem vierten sind erst die Medianstränge α und β sichtbar.

4 (20). Querschnitt durch einen ausgebildeten jährigen Zweig. a b c und d e f die beiden Spuren des nächsten Blattpaars.

5 (10). Querschnitt durch einen Zweigknoten. a b c und d e f die beiden daselbst austretenden Blattspuren; r r und s s die Stränge für die Axillarknospen der Blätter a b c und d e f. g h i und k l m die Spuren des Blattpaars vom erstobern Knoten.

Fig. 3. *Clematis Vitalba Lin.*

3 (15). Verlauf der Blattspurstränge in einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s die Spuren dreier successiver Blattpaare. Vom vierten Paar sind erst die beiden Medianstränge t und x theilweise sichtbar.

Fig. 6—8. ***Russelia juncea Zuccar.***

6 (20). Verlauf der Spurstränge in einem jungen Quirlzweig, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a und b die Stränge der beiden Vorblätter. c d e, f g h, i k l, m n o die Spuren der darauf folgenden 3zähligen Quirle. In dem zweiten Internodium (zwischen a b und c d e) wurde ein Stück weggelassen. Neben c und e befindet sich ein Paar von Strängen für den Axillarzweig dieser Blätter; c ist doppelt gezeichnet.

7 (15). Querschnitt durch das abwärts 6. gefässführende Internodium eines Zweiges mit 4zähligen Quirlen, mit 4 Gefässpartien, die denen am Grunde von Fig. 7 entsprechen.

8 (12). Verlauf der Spurstränge in einem Zweigende mit 4zähligen Quirlen, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c d, e f g h, i k l m, n o p q, r s t u, v x y z die Spuren von 6 auf einander folgenden Quirlen; von denen des obersten Quirls ist erst der eine Schenkel gebildet. — Der Querschnitt durch das untere Ende ist in Fig. 7 gezeichnet.

Taf. XV.

Fig. 1, 2. *Urtica Dodartii Lin.*

1. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Keimpflänzchen, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach Längs- und Querschnitten ausgeführt. A und B Spuren der beiden Cotyledonen; A' und B' Stränge ihrer Axillarknospen. a b c und d e f Spuren der Primordialblätter. g h i, k l m, n o p, q r s, t u v, x y z Spuren von 3 folgenden Blattpaaren. Von dem obersten sind erst die beiden Medianstränge α und β sichtbar. a', d', g', k' Stränge für die Axillarknospen der Blätter a b c, d e f, g h i, k l m. — A, B, C, D die 4 Stränge im Cauliculus.

2 (35). Querschnitt durch ein oberes Glied eines Keimpflänzchens; die Bezeichnung ist die nämliche wie im aufwärts dritten Internodium von Fig. 1. g h i und k l m die beiden Spuren des eigenen Blattpaars; n o p und q r s diejenigen des erstobern Paars.

Fig. 3—5. *Stachys angustifolia Biebrst.*

3 (35). Querschnitt durch ein Glied des Stengelendes, entsprechend dem aufwärts zweiten Internodium von Fig. 5. c und d die Spuren des eigenen Blattpaars, e und f diejenigen des nächstobern Paars.

4 (35) Querschnitt durch den Knoten eines Stengelendes, entsprechend dem aufwärts ersten Knoten von Fig. 5 und dem Grunde des in Fig. 3 gezeichneten Internodiums. a und b die Stränge, welche in die Blätter ausgehen. c und d die Spuren des nächstobern Blattpaars. Von den 4 Strängen des zweitobern Paars sind die 2 auf der linken Seite mit d, d verschmolzen, die 2 auf der rechten Seite (e und f) noch getrennt, was eine Folge davon ist, dass der Schnitt etwas schief geführt wurde.

5 (25). Verlauf der Blattspurstränge in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a, b, c, d, e, f, g, h die Spuren von 4 successiven Blattpaaren. Vom obersten Paar ist erst je der eine Strang gebildet, i und k.

Fig. 6—7. *Lonicera Spec.*

6. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; nach successiven Quer-

schnitten ausgeführt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz die Spuren von 4 successiven Blattpaaren. Von dem obersten Paar sind erst die Medianstränge (α, β) gebildet. — Mehrere der abwärts folgenden Internodien des gleichen Zweiges zeigten die nämliche Anordnung der 16 Spurstränge, wie die 2 untern Glieder dieser Figur.

7 (45). Querschnitt durch das abwärts 4. gefässführende Glied eines Zweiges, entsprechend dem zweituntern Internodium von Fig. 6; die Bezeichnung ist die nämliche. — ghi und klm die Spuren des eigenen Blattpaars. nop und qrs die des erstobern Paars. uv und yz die lateralen Stränge vom zweitobern Paar.

Taf. XVI.

Fig. 1. *Centranthus ruber DC.*

1. Schematische Darstellung des Blattspurverlaufes in dem laubblatttragenden Stengelende, in der Horizontalprojection, nach Quer- und Längsschnitten ausgeführt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, α, β Spuren von 5 successiven Blattpaaren.

Fig. 2 — 5. *Humulus Lupulus Lin.*

2 (55). Querschnitt durch den Grund des abwärts zweiten gefässführenden Internodiums eines Stengels. Von dem unterhalb befindlichen Knoten sieht man nur Bruchstücke (die Axillarknospe des einen Blattes a und etwas von den Nebenblättern b, e); abc, def bezeichnen die Stellen, wo die 6 Blattspurstränge dieses Knotens ausgetreten sind, welche alle, mit Ausnahme von b und e, durch den Schnitt wegfielen; a und d Medianstränge. hi und lm die lateralen Stränge für den folgenden, op und rs die lateralen Stränge für den zweitnächsten Knoten. Die dazu gehörigen Medianstränge (nämlich g zu hi, k zu lm, n zu op und q zu rs) sind noch nicht sichtbar.

3 (55). Querschnitt durch das oberste gefässführende Internodium eines Stengels. bc und ef die seitlichen Stränge des nächsten Blattpaars; die medianen (a zwischen b und c, d zwischen e und f) sind noch nicht angelegt.

4 (55). Querschnitt durch den Grund eines Gliedes der Stengelspitze; von dem untern Knoten ist die eine Axillarknospe sichtbar. abc und def Spuren des nächsten, ghi und klm des zweitnächsten Blattpaars. Die Medianstränge a, d, g, k sind schwächer als die zugehörigen lateralen.

5 (55). Querschnitt dicht über dem abwärts dritten gefässführenden Knoten eines Stengels. abc und def die 6 Stränge seines Blattpaars, a und d im Blattstiel, bc und ef in die Nebenblätter. ghi und klm die Spuren des erstobern Paars; g und k Medianstränge. Von den Spuren des zweitobern Paars sind erst die lateralen Stränge op und rs vorhanden; die medianen kommen vor a und d zu liegen.

Fig. 6, 7. *Acer Pseudoplatanus Lin.*

6 (30). Querschnitt durch das abwärts fünfte gefässführende Stengelglied. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 7. abc, def, ghi, klm, nop, qrs die Spuren von 3 successiven Blattpaaren; nn und qq die beiden Schenkel der Medianstränge. tt und xx die Schenkel der Medianstränge von der obersten Blattspur.

7. Schematische Darstellung des Spurstrangverlaufes auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz die Spuren von 4 successiven Blattpaaren. α und β die Medianstränge der obersten Spur. — Der Querschnitt durch das untere Ende ist mit der nämlichen Bezeichnung in Fig. 6 dargestellt.

Taf. XVII.

Fig. 1, 2. *Tagetes signata Bartl.*

1. Schematische Darstellung des Spurstrangverlaufes in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz die Spuren von 4 successiven Blattpaaren. Ein dem untern Ende entsprechender Querschnitt ist in Fig. 2 dargestellt.

2 (20). Querschnitt durch ein Internodium des Stengelendes; die Bezeichnung ist die nämliche wie am Grunde von Fig. 1. abc und def Spuren des eigenen Blattpaars; ghi und klm Spuren des erstobern, nop und qrs des zweitobern Paars. a, d, g, k, n, q Medianstränge; n und q mit h und i verschmolzen; p und s in 2 Schenkel getheilt.

Fig. 3, 4. *Sambucus nigra Lin.*

3. Schematische Darstellung des Verlaufes der Spurstränge in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. I, II, III, IV, V die 5 obersten gefässführenden Knoten. abcde und fghik die Spuren von I und III, lmnop und qrstu die Spuren von II und IV. a, f, l, q Medianstränge; die Randstränge ie, dk, ou, tp sind vereintläufig. Von den Spuren von V sind erst die beiden Medianstränge (a und f) sichtbar. — Der Querschnitt durch das untere Ende ist in Fig. 4 mit der nämlichen Bezeichnung dargestellt.

4 (10). Querschnitt durch das abwärts fünfte gefässführende Glied des Zweiges, dessen Strangverlauf Fig. 3 zeigt; die Bezeichnung ist die gleiche. abcde und fghik Spuren des eigenen, lmnop und qrstu Spuren des erstobern Blattpaars. ie und dk sind vereintläufig; l und q in 2 Schenkel gespalten.

Fig. 5. *Aesculus macrostachya Michx.*

5 (10). Verlauf der Spurstränge in einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs die Spuren der 3 obersten Blattpaare.

Fig. 6, 7. *Mercurialis perennis Lin.*

6 (18). Querschnitt durch das abwärts 6. gefässführende Stengelglied; die Bezeichnung ist die nämliche wie im Grunde von Fig. 7. abc und def die Spuren des eigenen Blattpaars; ce und bf vereintläufig. hi und lm die lateralen Stränge der erstobern Spur. εε und ζζ die Stränge für die Axillarzweige der Blätter.

7 (12). Verlauf der Spurstränge in einem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, α, β die Spuren von 5 successiven Blattpaaren. Von den obersten Spuren sind erst die Medianstränge (γ und δ) gebildet. εε, ζζ, ϑϑ, ηη die Stränge für die Axillarknospen der Blätter a, d, g und k. — Der Querschnitt durch das untere Ende ist in Fig. 6 mit der gleichen Bezeichnung dargestellt.

Taf. XVIII.

Fig. 1, 2. *Pisonia hirtella H. B.*

1 (20). Verlauf der Spurstränge in dem Stengelende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a, b, c, d, e, f die Spuren von 3 successiven Blattpaaren. c^1 e^2 und f^1 f^2 die beiden Schenkel, in die sich die vereintläufige Spur e und f spaltet; c^1 und f^1 stärker und zuerst entstanden. gh, ik, lm und no schwache Stränge, die von den Biegungsstellen der Lateralstränge der Spuren d, c, f und e entspringen. Dem untern Ende entspricht der in Fig. 2 gezeichnete Querschnitt.

2 (20). Querschnitt durch den abwärts dritten gefässführenden Knoten eines Zweiges; die Bezeichnung ist die nämliche wie an dem untern Ende von Fig. 1. a und b die Spuren des eigenen Blattpaars. c und d die vereintläufigen Spuren des erstobern Paars; g, h, i und k die schwachen Stränge, die von den lateralen des letztern entspringen.

Fig. 3—7. *Dioscorea Batatas Dcsne.*

3. Schematische Darstellung des Verlaufes der Spurstränge in einem Zweigstücke mit schraubenständigen Blättern, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen. abc, def, ghi, klm vier successive Blattspuren bei ihrem Austritte. nop, qrs, tuv, xyz, αβγ die Spuren von 5 folgenden Blättern,

vy und zβ vereintläufig. — Dem untern Ende entspricht der in Fig. 4 mit der nämlichen Bezeichnung versehene Querschnitt.

4 (20). Querschnitt durch ein Zweiginternodium; die Bezeichnung ist die gleiche wie am untern Ende von Fig. 3. abc Spur des eigenen, def des erstobern, ghi des zweitobern, klm des drittobern, nop des viertobern Blattes. il und om sind vereintläufig.

5 (40). Querschnitt durch das Internodium eines Zweiges mit gegenständigen Blättern; die Bezeichnung ist die gleiche wie am Grunde von Fig. 7. abc und def Spuren des eigenen Blattpaars; ghi und klm Spuren des erstobern Paars.

6 (40). Querschnitt durch den Grund des auf Fig. 5 nach oben folgenden Internodiums. ghi und klm die Spuren des eigenen Blattpaars; von denjenigen des erstobern sind nur die lateralen Stränge op und rs vorhanden, weil die Schenkel der medianen sich bereits damit vereinigt haben.

7. Schematische Darstellung des Strangverlaufes in einem Zweigende, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen. abc und def, ghi und klm, nop und qrs, tuv und xyz Spuren von 4 successiven Blattpaaren. Dem untern Ende entspricht der Querschnitt in Fig. 5.

Fig. 8. *Phytolacca dioica Lin.*

8 (2). Querschnitt durch einen diessjährigen Ast. a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l die im Mark befindlichen Medianstränge von 11 successiven Blattspuren, von denen a die unterste, l die oberste ist. m, n, o, p, q 5 (an einer Stelle 4) Fibrovasalringe. r grüne Rinde.

Taf. XIX.

Fig. 1. *Dioscorea Batatas Dcsne.*

1 (20). Querschnitt durch einen Zweig mit alternirenden Blättern. abc Spur des nächsten Blattes.

Fig. 2—4. Wurzeln von *Cocculus laurifolius DC.*

2 (15). Querschnitt durch ein Wurzelende; am Umfange des centralen Cambiumcylinders sind 4 ursprüngliche Vasalbündel sichtbar.

3 (15). Querschnitt durch das nämliche Wurzelende; etwas höher (grundwärts). Die ursprünglichen Vasalbündel sind durch Holzmasse vereinigt.

4 (15). Querschnitt durch einen etwas dickern Wurzelast. Von dem centralen Fibrovasalcylinder, an dessen Umfang man die 4 ursprünglichen Vasalbündel erkennt, gehen 8 Fibrovasalstrahlen aus; dazwischen die breiten Parenchymstrahlen. c, c Cambium; m, m Strahlenmeristem; l Bastring; p Periderm; r Rindenparenchym.

Fig. 5. *Chamaedorea elatior Mart.*

5. Schematische Darstellung des Verlaufes der Medianstränge von 4 successiven Stengelblättern (a, b, c, d, von denen a das unterste, d das oberste ist), in der Horizontalprojection. m Mittelpunct, p p p p Peripherie. a a′ Verlauf durch 3, b b′ durch 4, c c′ durch 5, d d′ durch 6 Internodien.

Fig. 6. *Euphorbia Lathyris Lin.*

6 (15). Verlauf der Spurstränge in einem Keimpflänzchen, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; die beiden Längsschnitte wurden in der Zeichnung vereinigt. a b c und d e f Cotyledonarspuren. g h i und k l m, n o p und q r s, t u v und x y z, *α* und *β* die Spuren der 4 auf die Samenlappen folgenden Blattpaare. Von dem obersten Paar sind erst die Medianstränge theilweise sichtbar, *γ* und *δ*.

Fig. 7, 8. Wurzeln von *Phytolacca dioica Lin.*

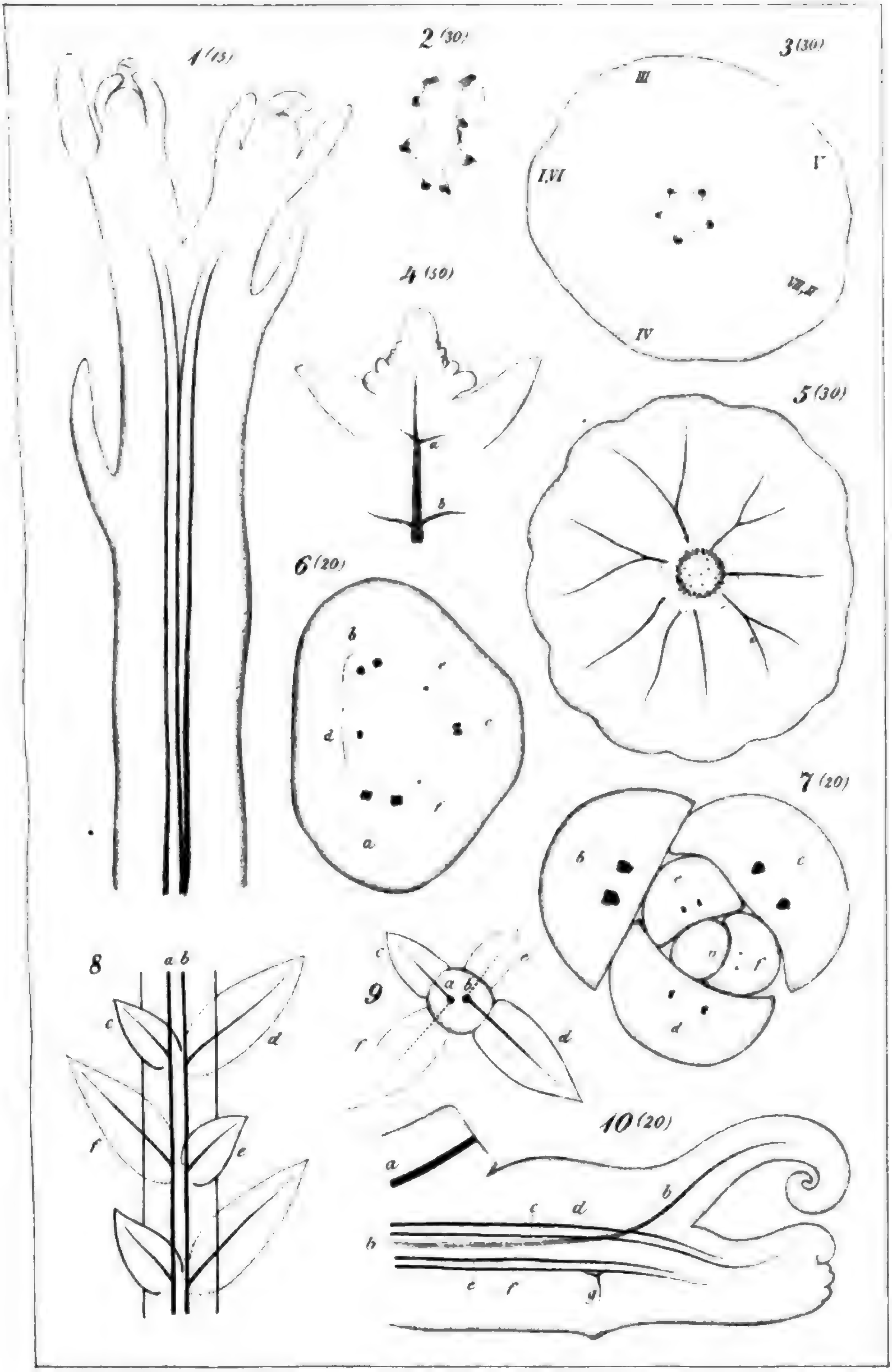
7 (40). Querschnitt durch ein Wurzelende. In dem centralen Cambiumcylinder hat sich erst eine Reihe von Gefässen gebildet, von denen die 2 innersten grösser und noch dünnwandig sind.

8 (15). Querschnitt durch den innern Theil einer 14 Mill. M. dicken Wurzel. Von dem centralen Fibrovasalcylinder, in welchem man die beiden getrennten Hälften der ursprünglichen Vasalreihe (Fig. 7) erkennt (nämlich die eine oben, die andere rechts unten, als dunkle radiale Streifen), gehen 8 Fibrovasalstrahlen aus. a, a zwei Strahlen, die nicht mit dem centralen Cylinder zusammenhängen. c, c Cambiform.

Zu berichtigen.

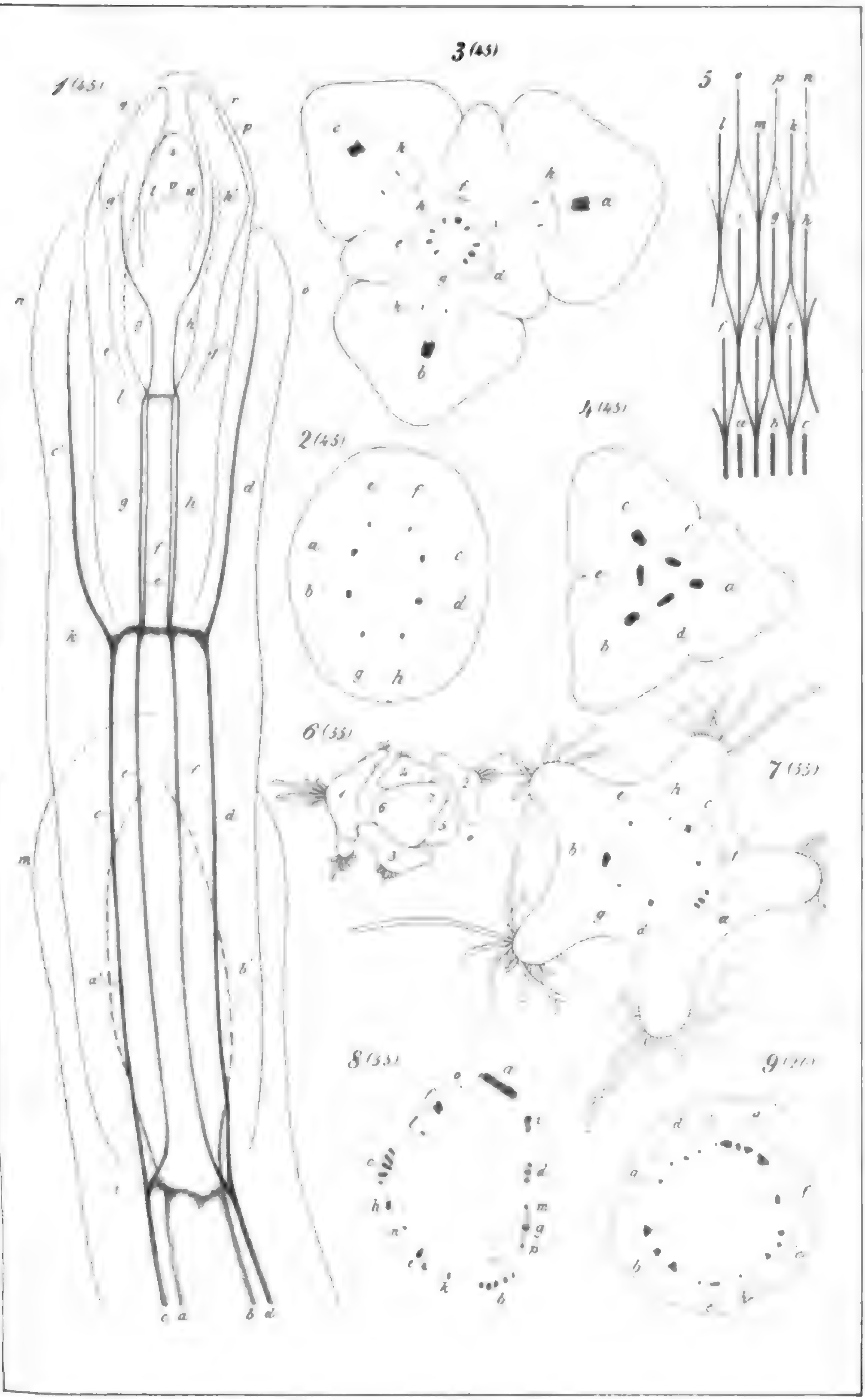
Pag. 10, Zeile 8 von unten soll es heissen: polyarche (Fibrovasalmassen) kommen in den Stengeln der Lycopodiaceen, in den Stengeln und Blättern von Marsileaceen und andern Cryptogamen sowie auch von Phanerogamen, und allgemein in den Wurzeln vor.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.


1 (15)
2 (30)
3 (30)
III
V
I.VI
VII,II
IV
4 (50)
a
b
5 (30)
6 (20)
b
c
d
e
f
a
7 (20)
b
c
e
a
f
d
8
a b
c
d
f
e
9
c
a b
e
f
d
10 (20)
a
b
c
d
b
e
f
g

1-3 Psilotum. 4, 5 Hippuris. 6, 7 Salisburia. 8, 9 Selaginella. 10 Marsilea

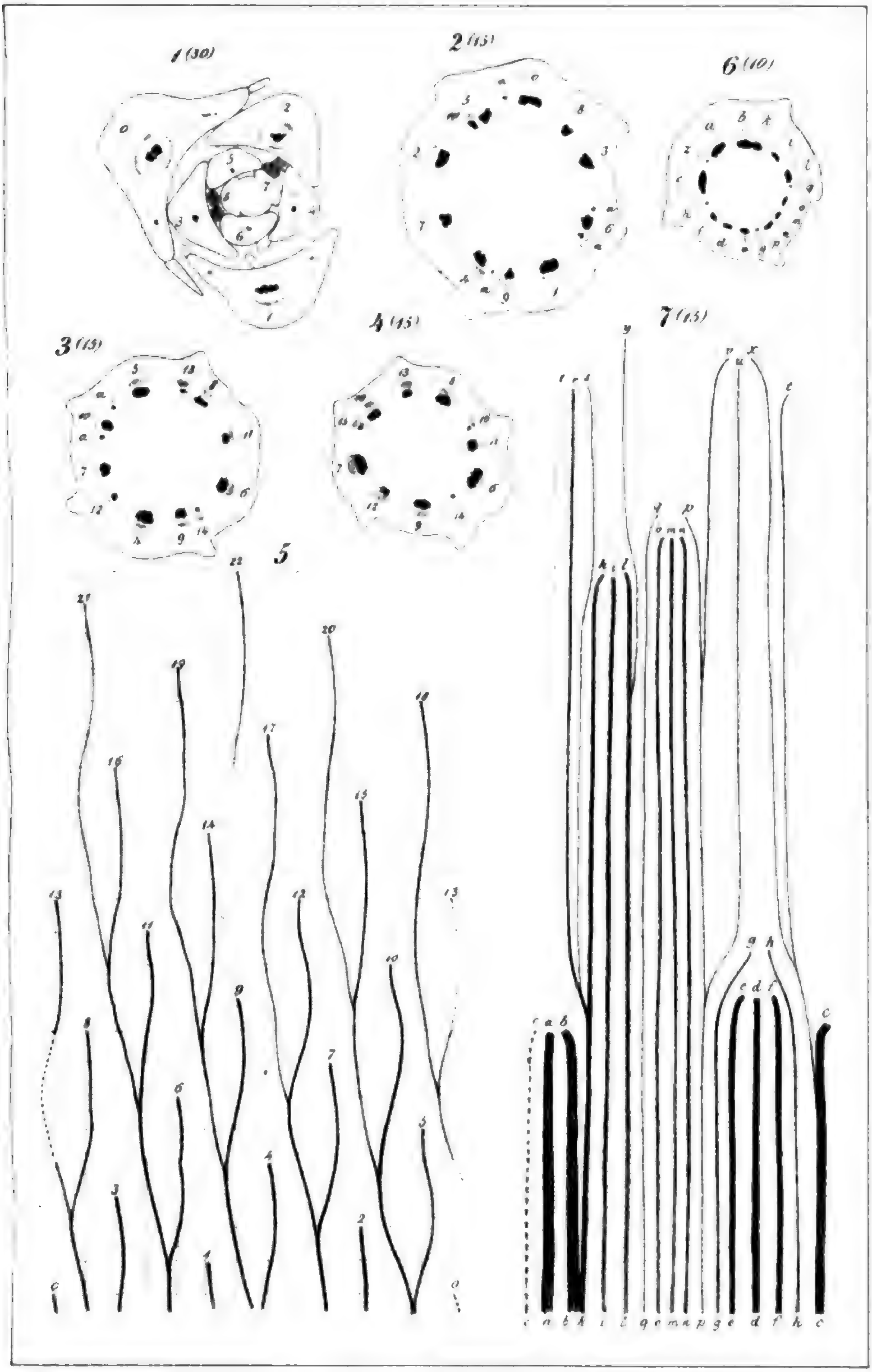
II.



1 (45)
2 (45)
3 (45)
4 (45)
5
6 (35)
7 (35)
8 (35)
9

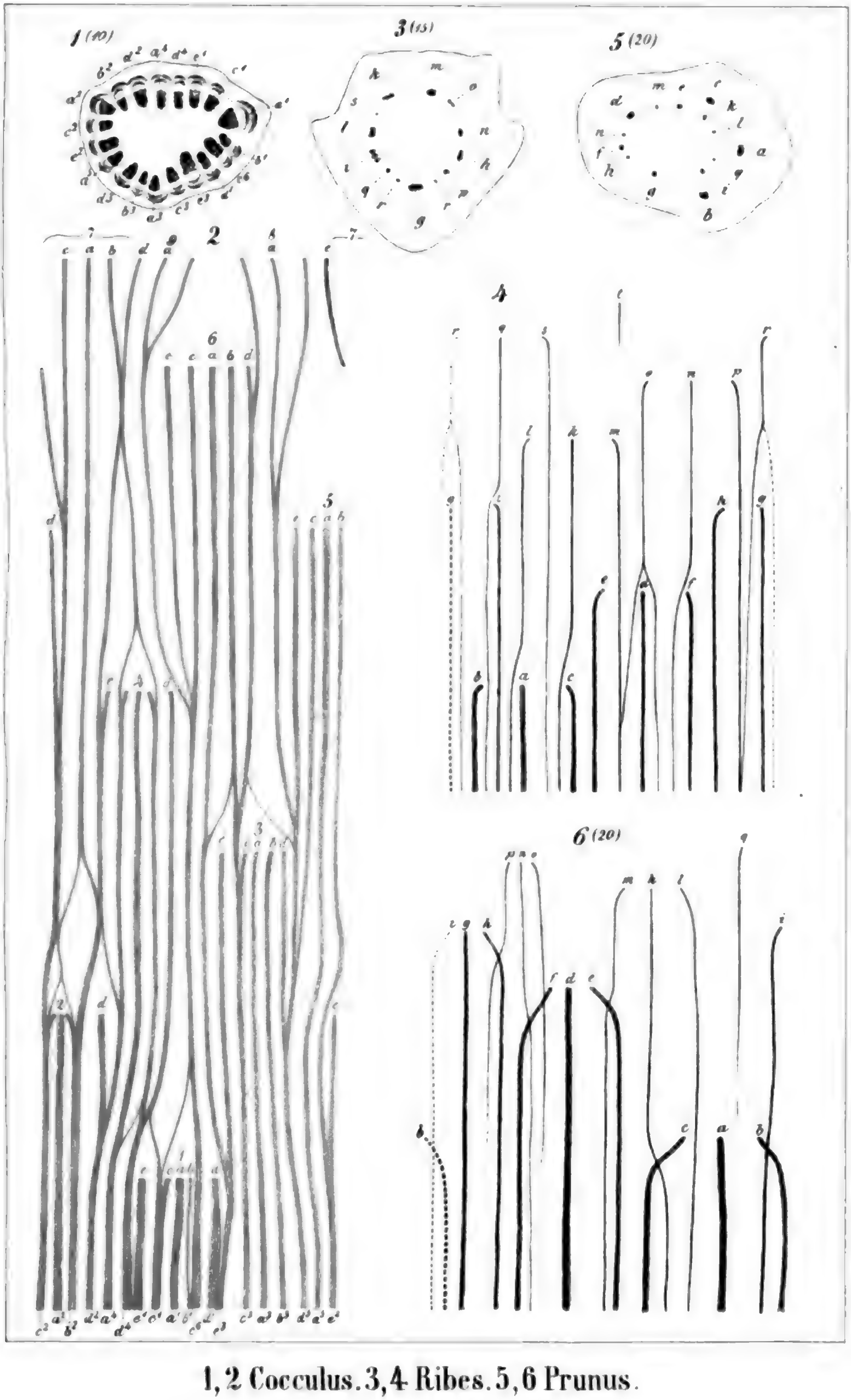
1, 2 Ephedra. 3-5 Juniperus. 6-8 Sarothamnus. 9 Lepidium.

III.


1 (30)
2 (15)
6 (10)
3 (15)
4 (15)
7 (15)
5
c a b k i l q o m n p g e d f h c

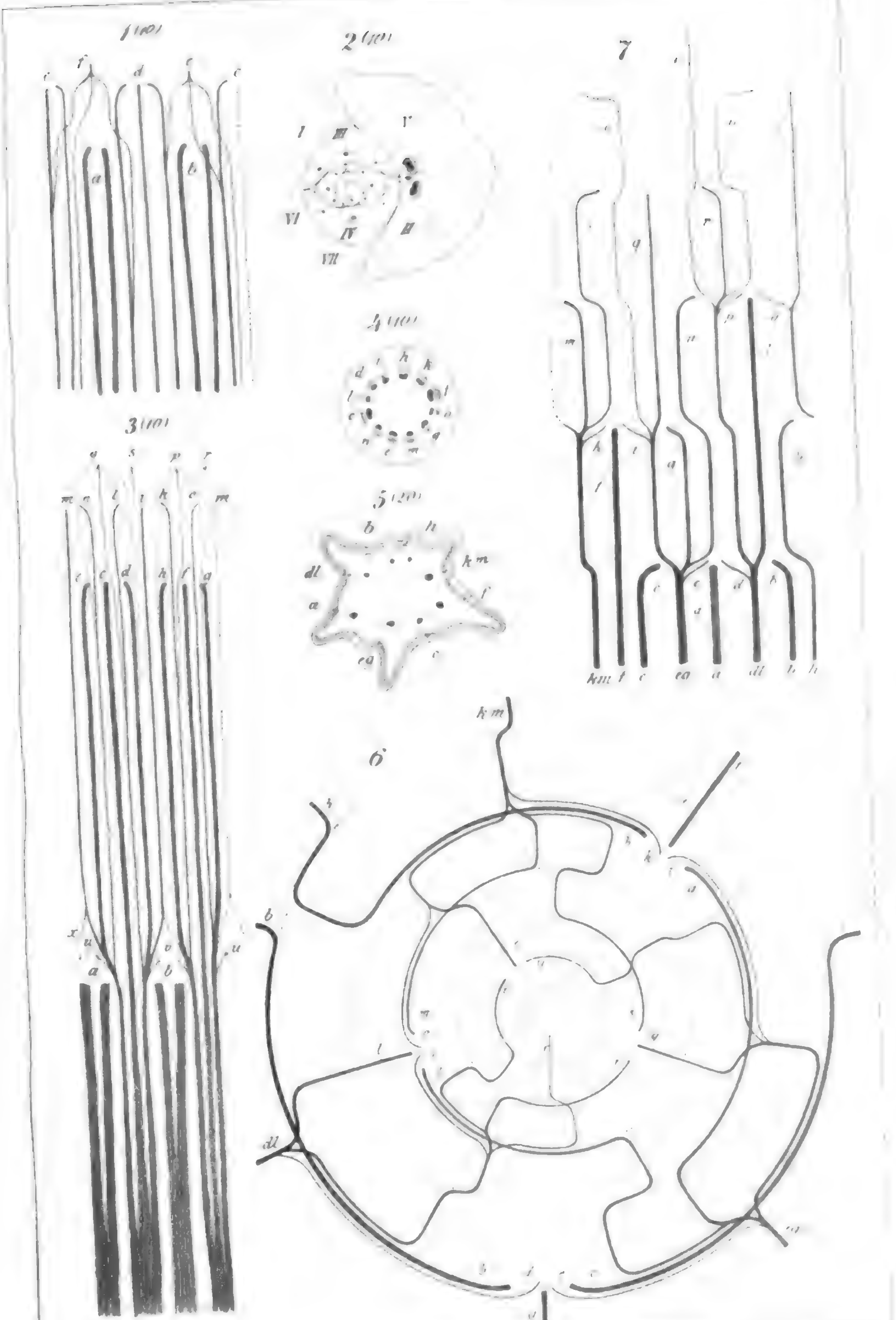
1-5 Iberis. 6,7 Scopolina.

IV.


1 (10)
3 (15)
5 (20)
2
4
6 (20)
6
5
3
1
7

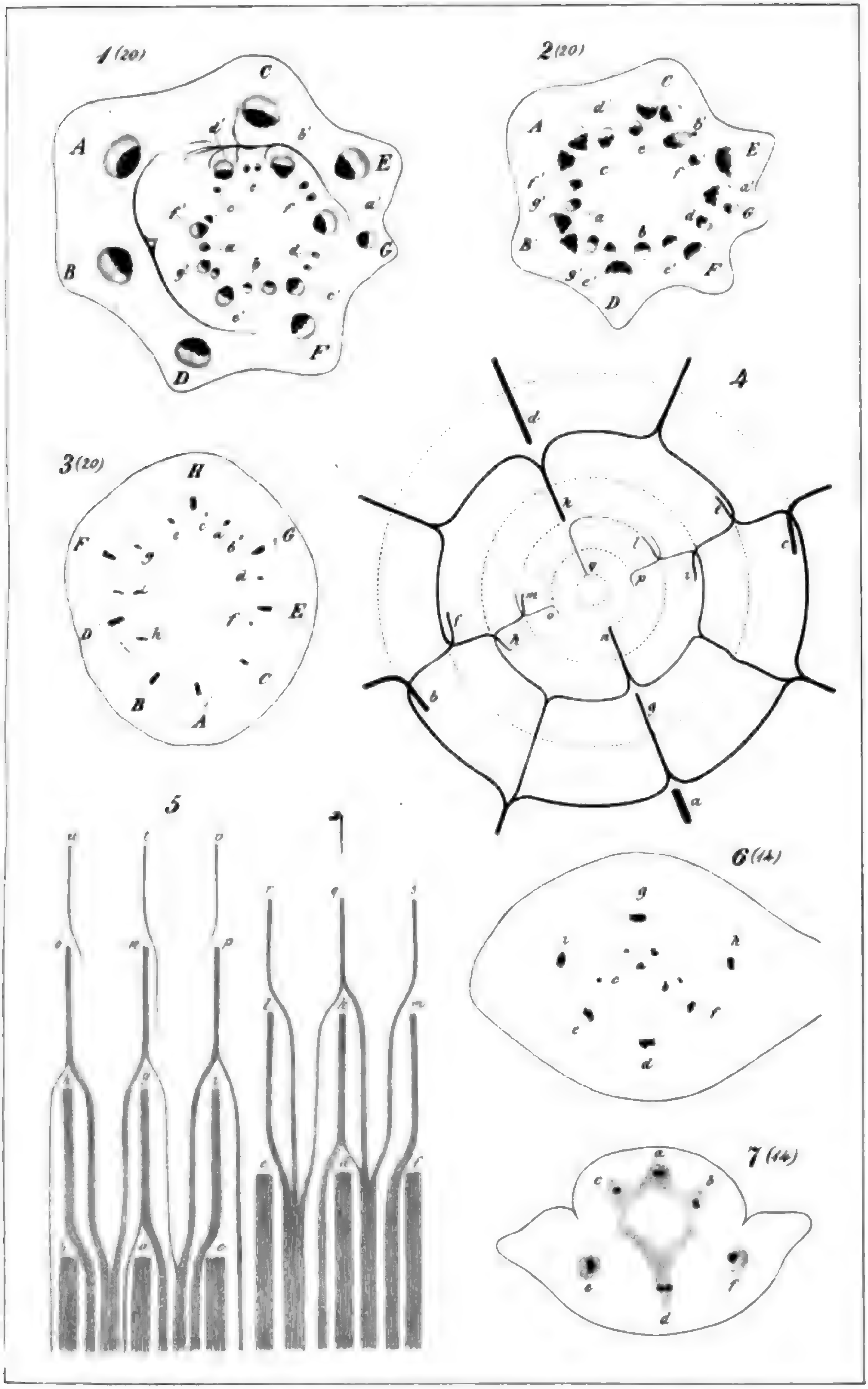
1, 2 Cocculus. 3, 4 Ribes. 5, 6 Prunus.

V.

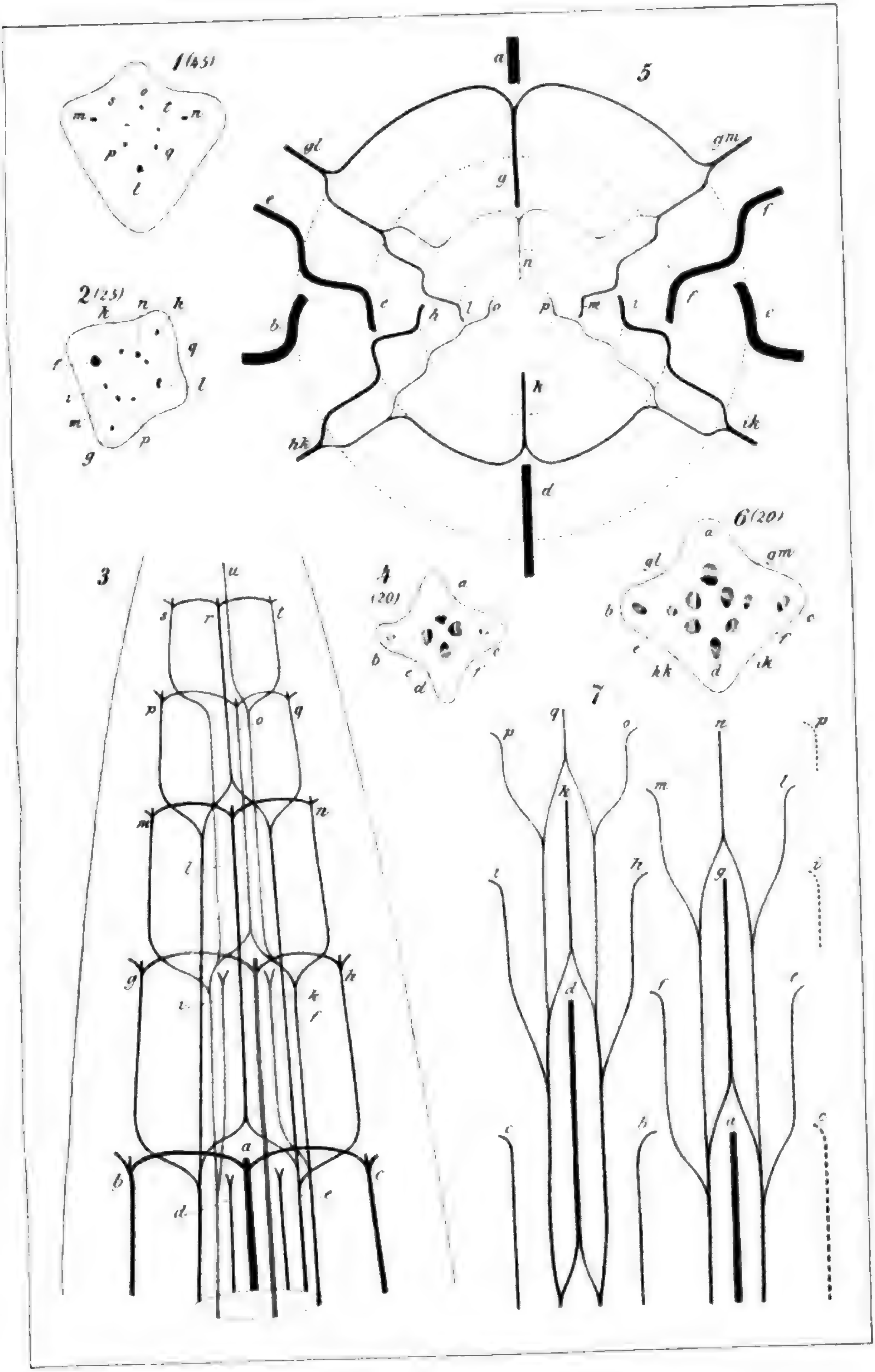

1 (100)
2 (100)
3 (100)
4 (100)
5 (120)
6
7
I
II
III
IV
V
VI
VII
a
b
c
d
e
f
km
dl
ea
l
m
k
h

1-4 Lupinus. 5-7 Passiflora.

VI.

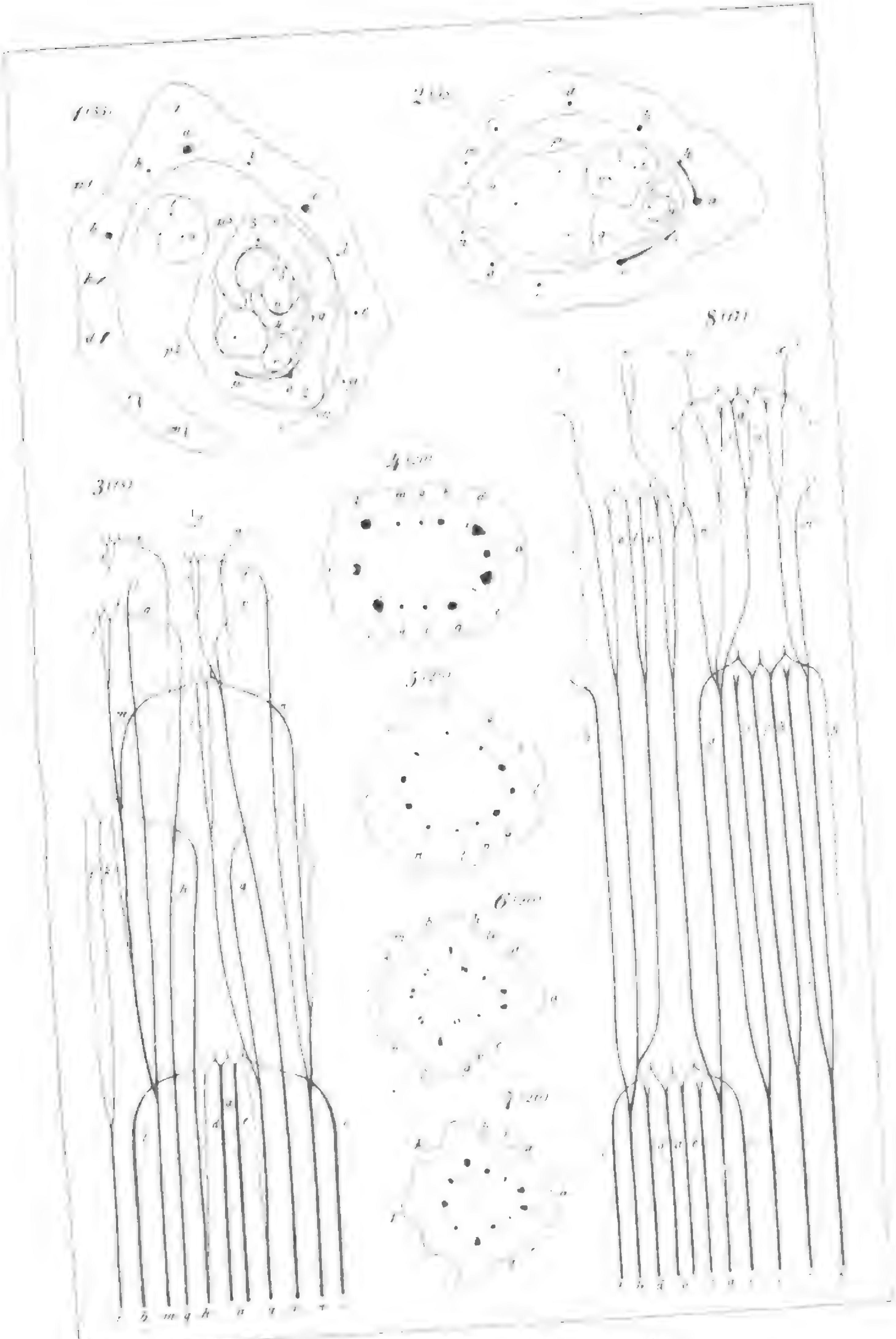

1 (20)
A
B
C
D
E
F
G
a
b
c
d
e
f
g
a'
b'
c'
d'
e'
f'
g'
2 (20)
3 (20)
H
4
5
6 (14)
7 (14)

1, 2 Saururus. 3 Liriodendron. 4 Lathyrus. 5-7 Hertia.

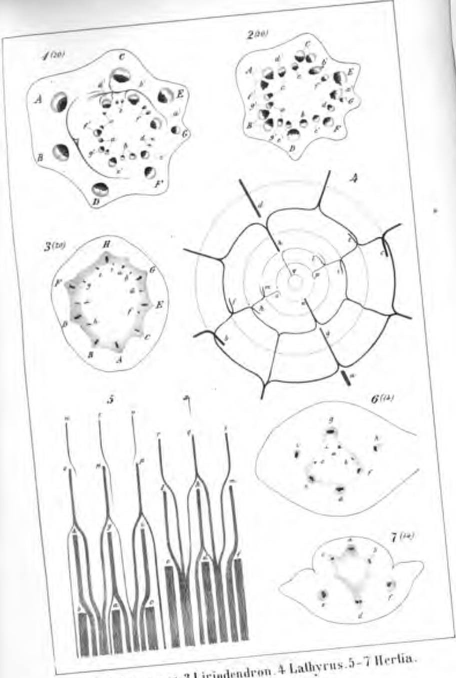

1 (45)
s
o
t
m
n
p
q
l
2 (25)
k
n
h
q
f
l
i
m
g
p
5
a
gl
gm
g
e
f
n
b
c
h
l
o
p
m
i
hk
ik
k
d
3
u
s
r
t
p
q
o
m
n
l
g
h
v
k
f
a
b
c
d
e
4
(20)
a
b
c
d
e
f
6 (20)
a
gl
gm
b
c
e
f
hk
d
ik
7
p
q
o
n
p
k
m
l
i
h
g
i
d
f
e
c
b
a
c

Lathyrus.

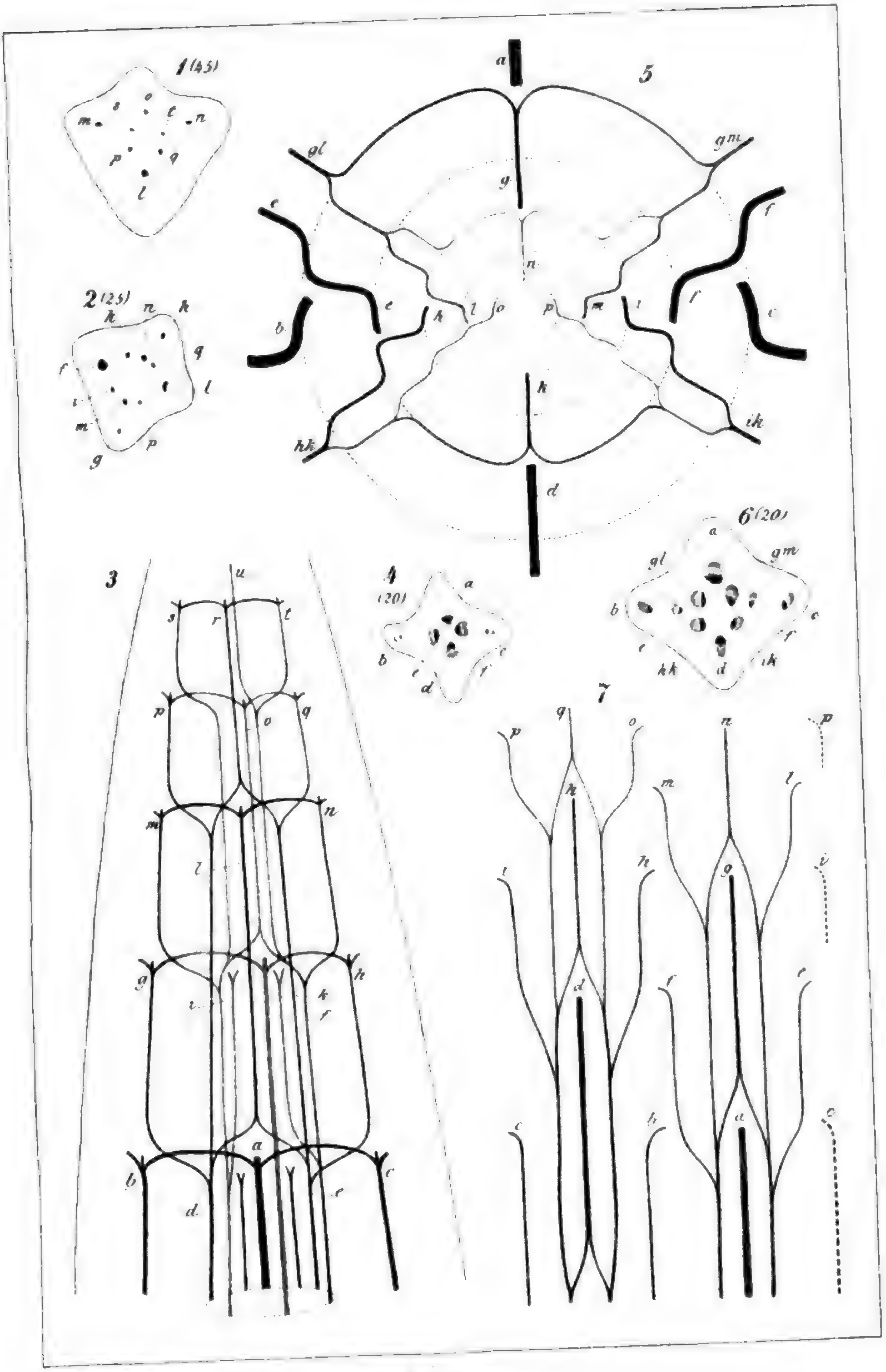
VIII.



1, 2 Lathyrus. 3–8 Aristolochia

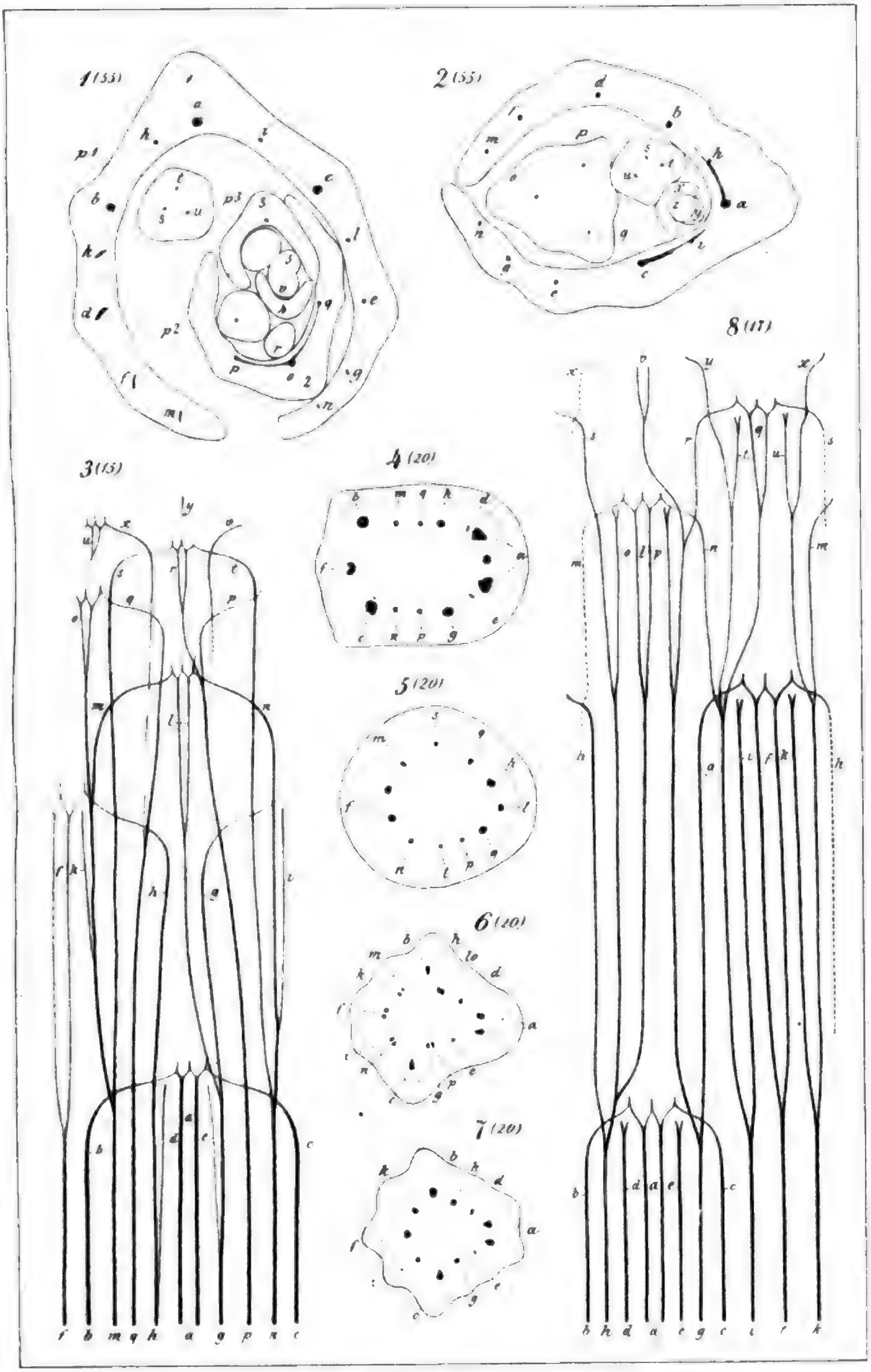

1 (20)
A
B
C
D
E
F
G
2 (20)
A
B
C
D
E
F
G
3 (20)
A
B
C
E
F
G
H
4
5
6 (14)
7 (14)

1, 2 Saururus. 3 Liriodendron. 4 Lathyrus. 5–7 Herlia.

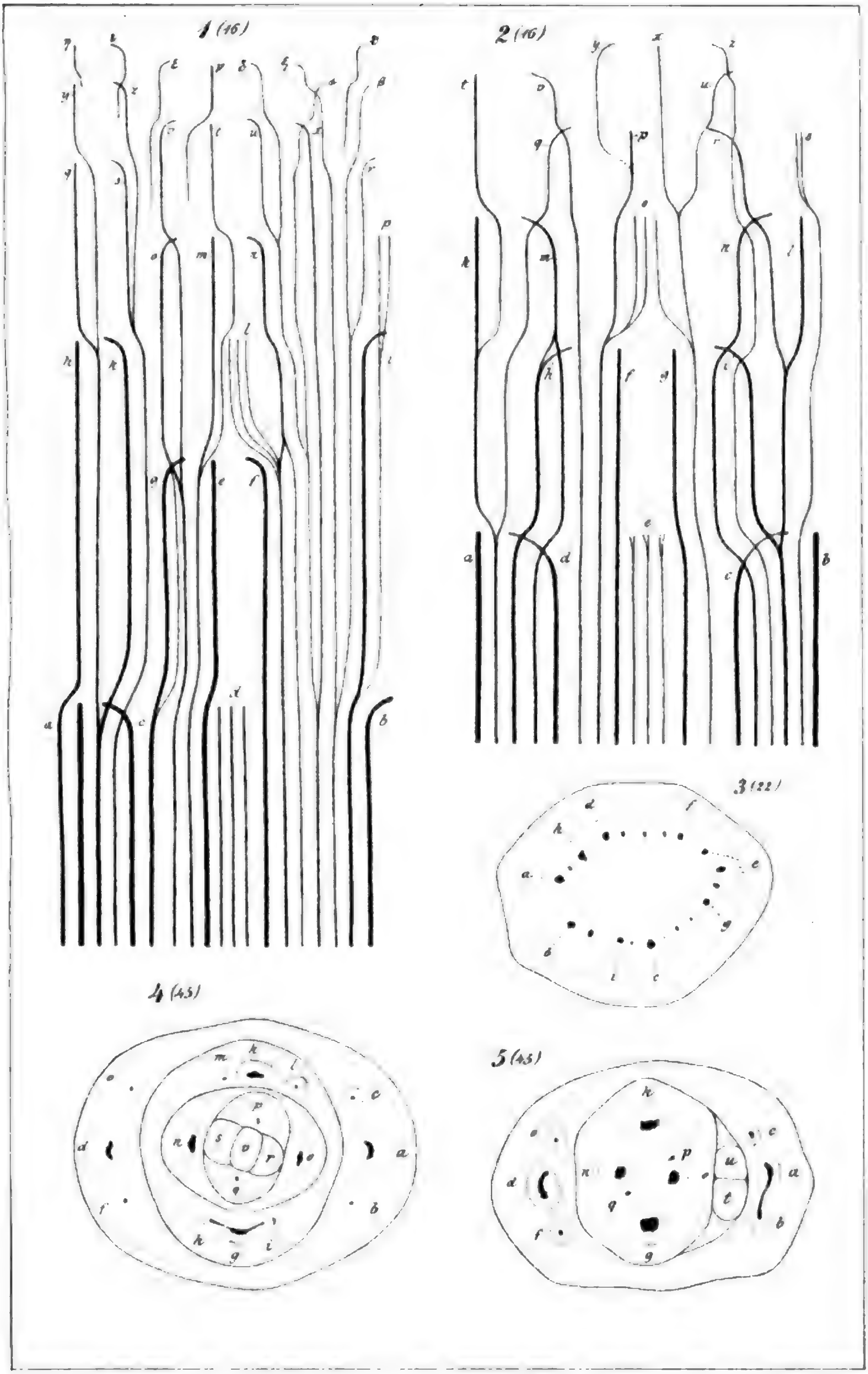

1 (45)
m
s
o
t
n
p
q
l
2 (25)
k
n
h
q
f
l
i
m
g
p
5
a
gl
gm
g
e
f
n
b
c
k
l
o
p
m
i
h
hk
ik
d
3
u
s
r
t
p
o
q
m
l
n
g
i
k
f
h
a
b
d
e
c
4 (20)
a
b
e
d
f
c
6 (20)
a
gl
gm
b
c
e
f
hk
d
ik
7
p
q
o
n
h
m
l
i
h
g
d
f
e
c
b
a

Lathyrus.

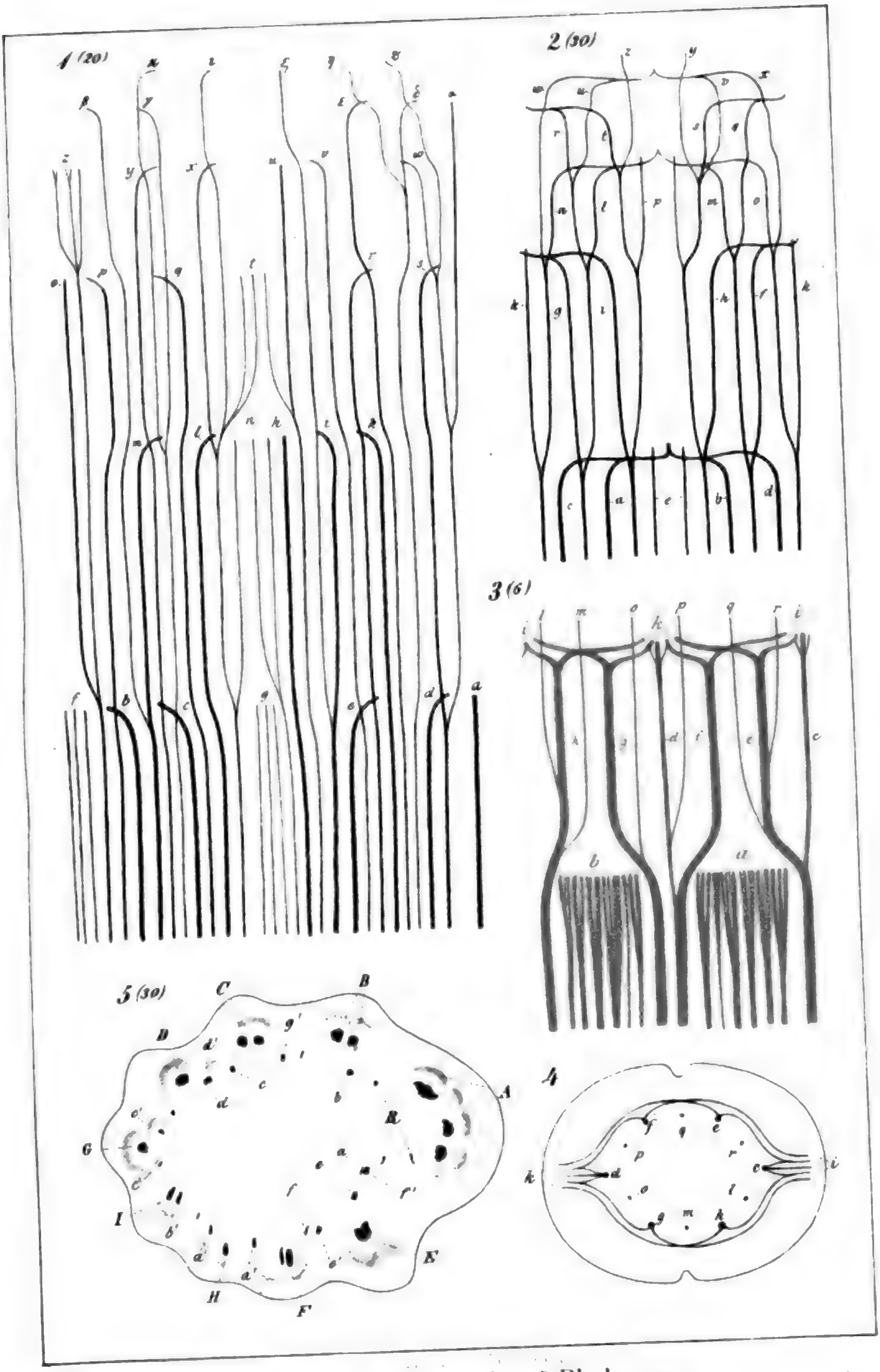
VIII.


1 (55)
2 (55)
3 (15)
4 (20)
5 (20)
6 (20)
7 (20)
8 (17)
f b m q h a g p n c
b h d a e g c i f k

1, 2 Lathyrus. 3–8 Aristolochia.

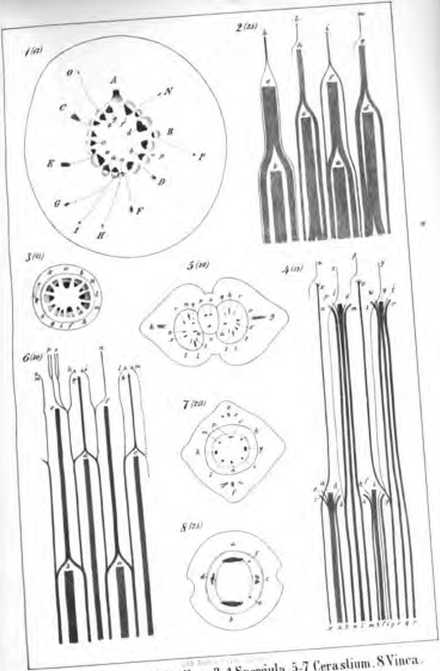

1 (16)
2 (16)
3 (22)
4 (45)
5 (45)
a
b
c
d
e
f
g
h
i
k
l
m
n
o
p
q
r
s
t
u
x
y
z

1-3 Ampelopsis. 4-5 Alsine.

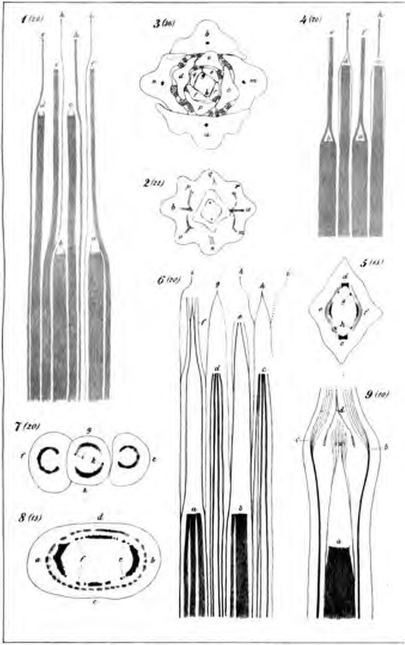

1 (20)
2 (30)
3 (6)
4
5 (30)
a
b
c
d
e
f
g
h
i
k
l
m
n
o
p
q
r
s
t
u
v
w
x
y
z
A
B
C
D
E
F
G
H
I

1 Vitis. 2-4 Phaseolus. 5 Platanus.

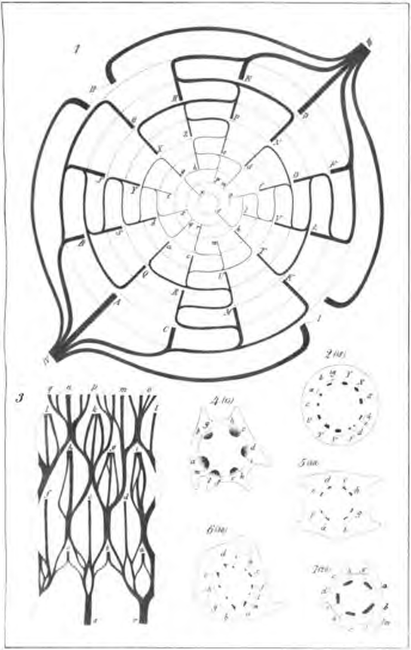
XI.


1 (a)
A
B
C
D
E
F
G
H
I
N
O
P
2 (25)
3 (15)
4 (15)
5 (20)
6 (20)
7 (20)
8 (25)

1 Menyanthes. 2 Dianthus. 3,4 Spergula. 5-7 Cerastium. 8 Vinca.

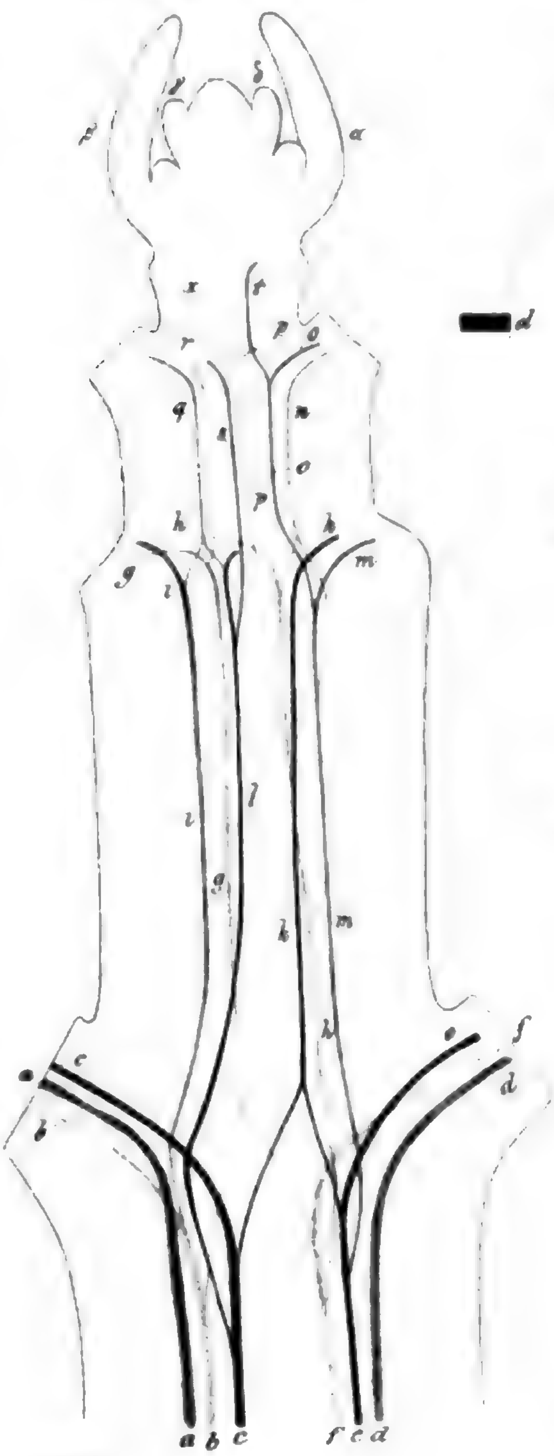

1 (20)
3 (36)
4 (20)
2 (22)
6 (20)
5 (13)
9 (10)
7 (20)
8 (13)

1-3 Galium. 4, 5 Hypericum. 6 Tecoma. 7, 8 Bignonia. 9 Fraxinus.

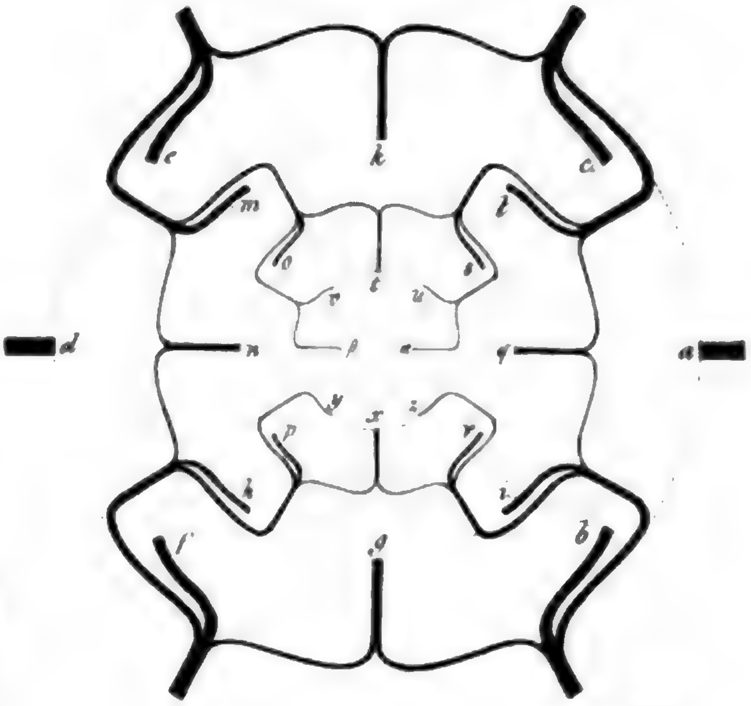

1
2 (18)
3
4 (10)
5 (10)
6 (10)
7 (20)

1-3 Antirrhinum. 4-7 Anagallis.

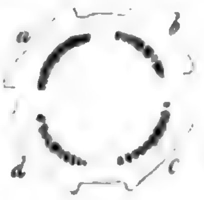
1(40)


γ
δ
ε
α
x
t
r
p
o
q
s
n
o
p
h
k
g
i
m
l
i
g
k
m
h
c
e
f
b
d
a b c
f e d

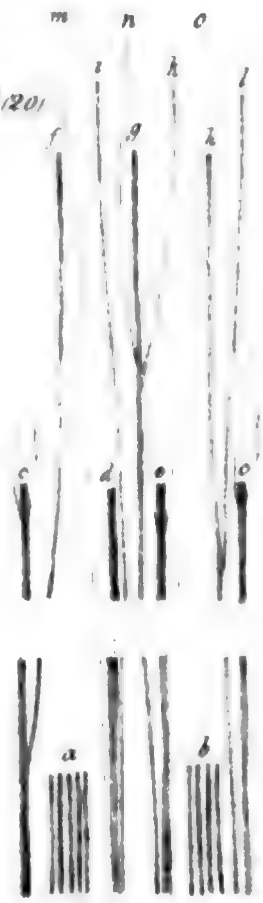
2


c
k
c
m
l
o
t
s
v
u
d
n
β
α
q
a
y
x
z
p
r
k
i
f
g
b

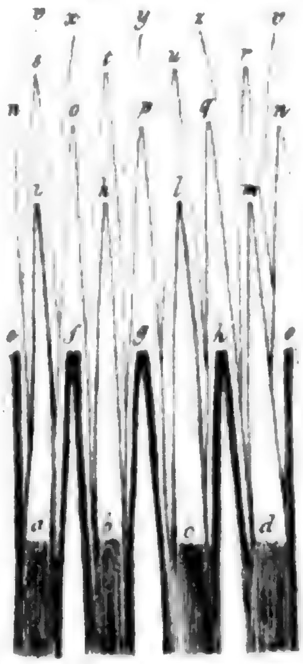
7(15)



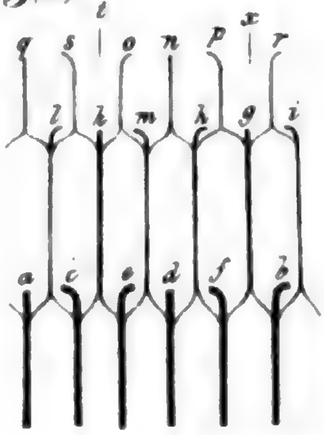
6(20)


m
n
o
i
k
l
f
g
h
c
d
e
e
a
b

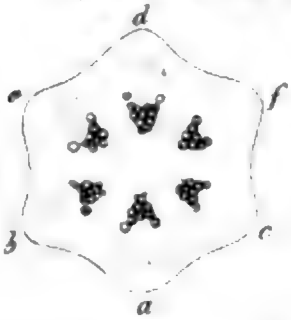
8(12)


v
x
y
z
v
s
t
u
r
n
o
p
q
n
i
k
l
m
e
f
g
h
e
a
b
c
d

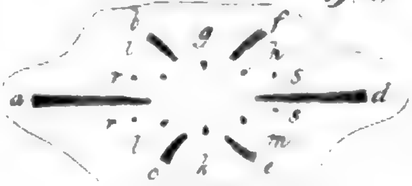
3(15)


q
s
t
o
n
p
x
r
l
k
m
h
g
i
a
c
e
d
f
b

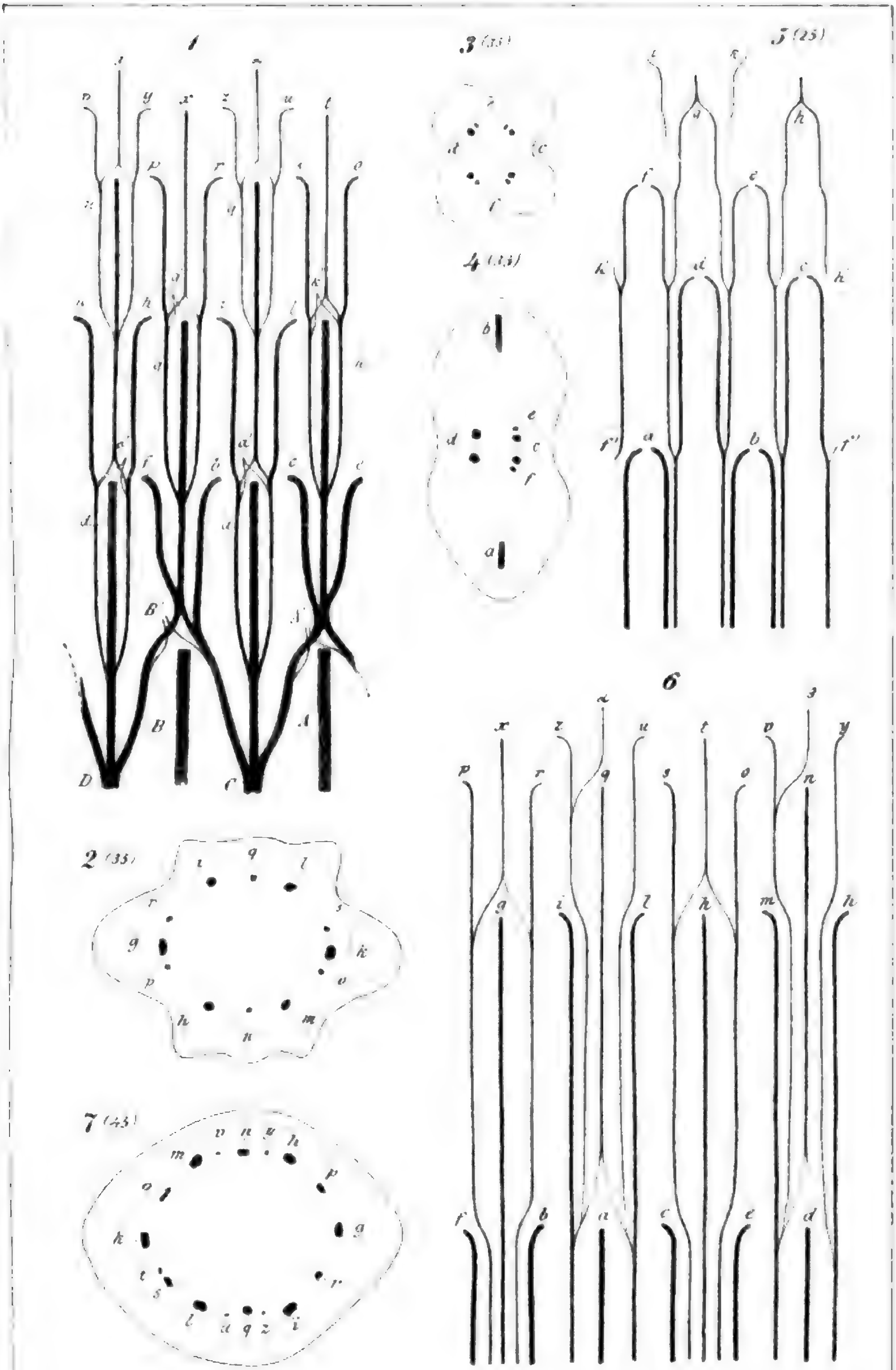
4(20)



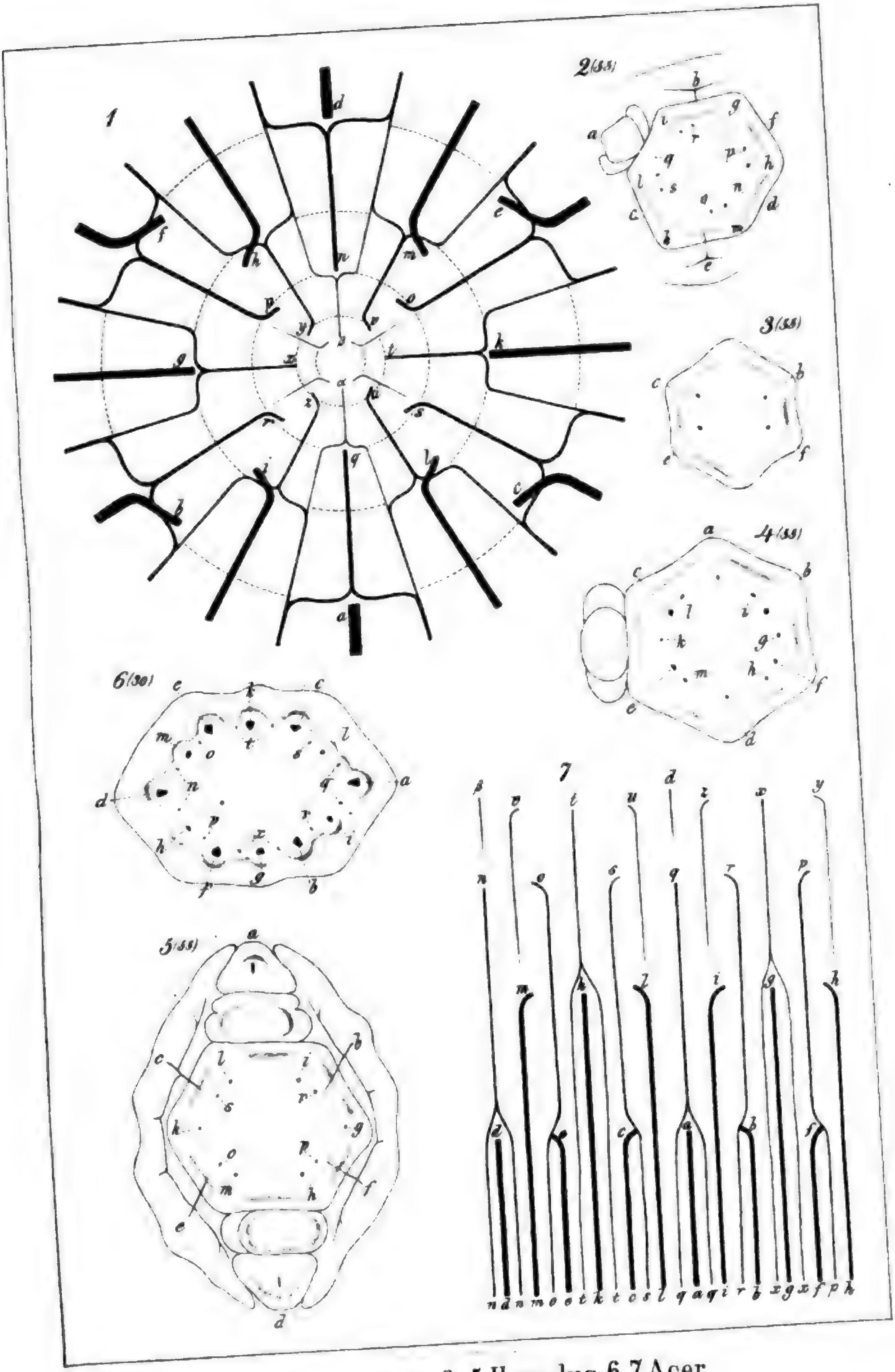
5(10)


b
g
f
i
h
r
s
a
d
s
r
m
l
k
c
e

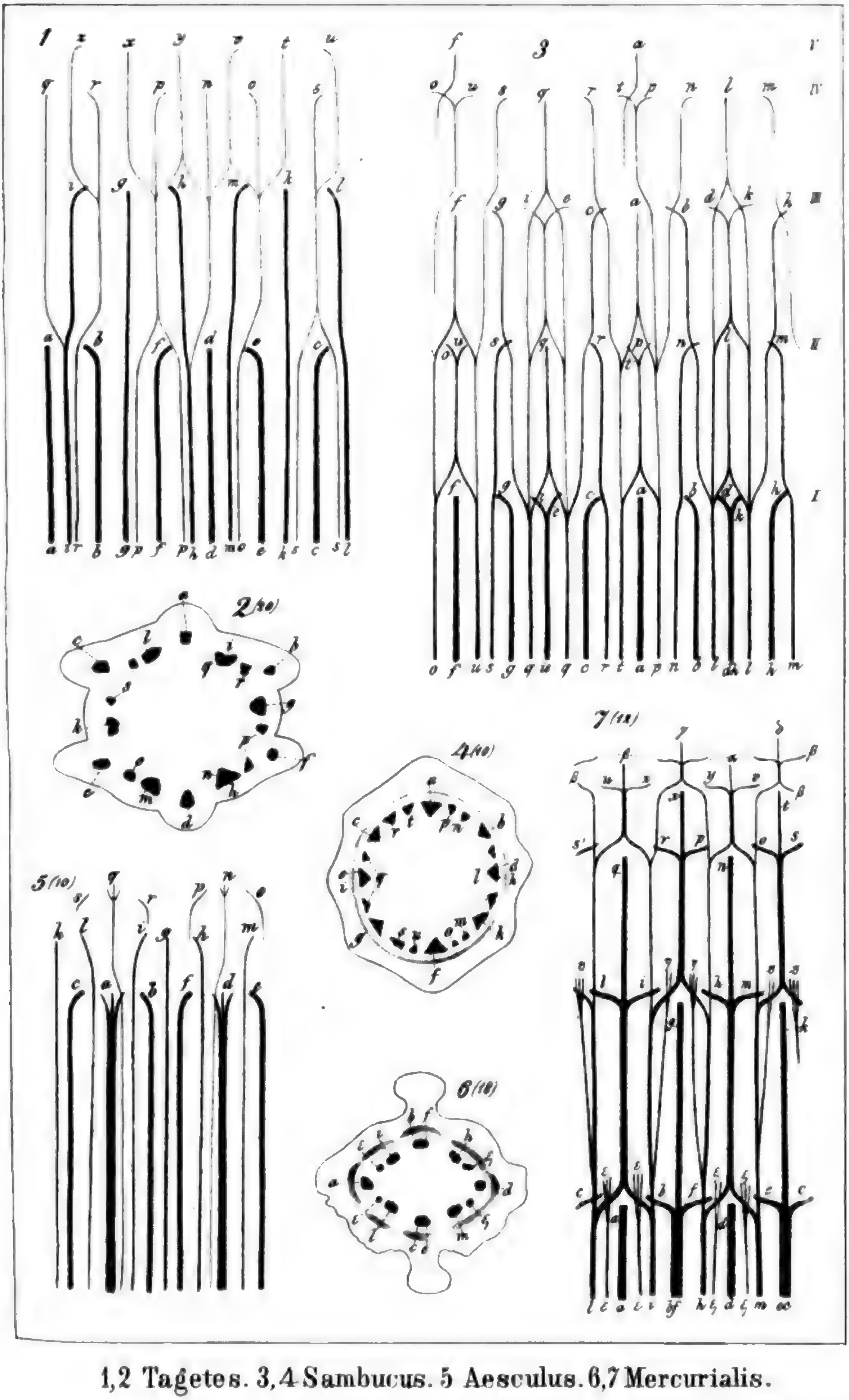
1–5 Clematis. 6–8 Russelia.


1
2 (35)
3 (35)
4 (35)
5 (25)
6
7 (45)
A
B
C
D
A'
B'

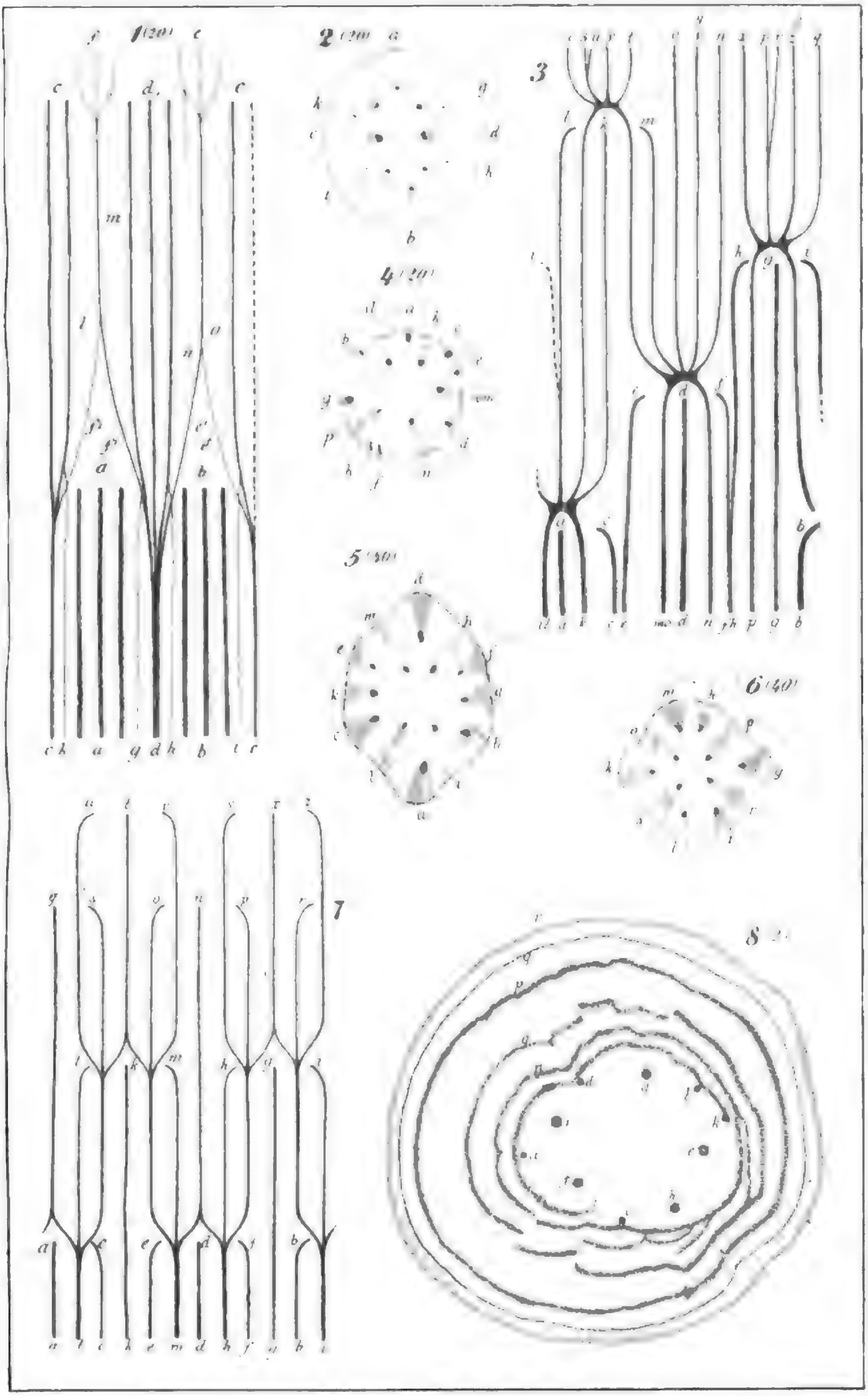
1, 2 Urtica. 3-5 Stachys. 6, 7 Lonicera.


1
2(35)
3(35)
4(35)
5(35)
6(30)
7
n d n m o e t k t c s l q a q i r b x g x f p h

1 Centranthus. 2-5 Humulus. 6,7 Acer.

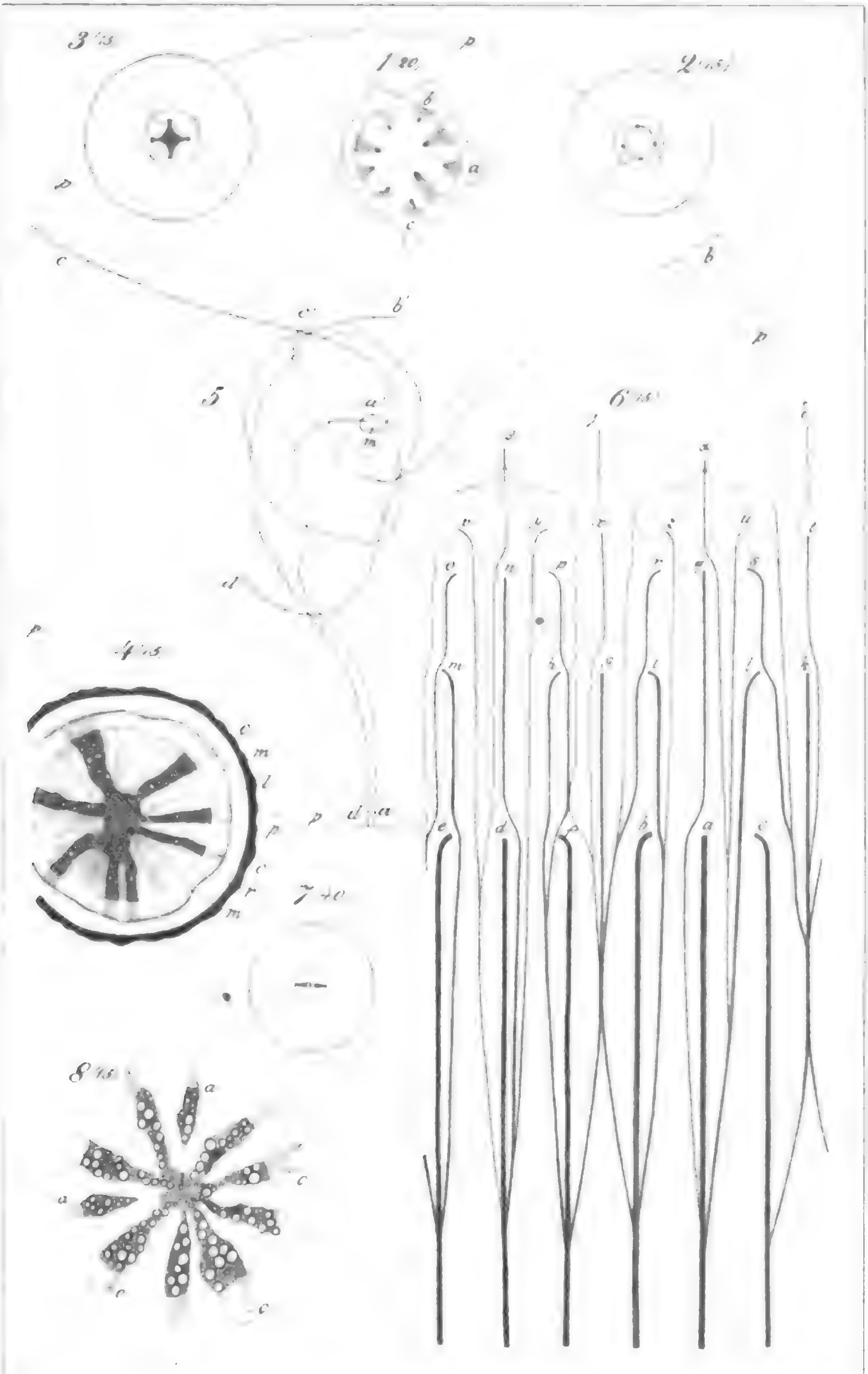

1
3
V
IV
III
II
I
2 (10)
4 (10)
5 (10)
6 (10)
7 (12)

1,2 Tagetes. 3,4 Sambucus. 5 Aesculus. 6,7 Mercurialis.


1 (20)
2 (20)
3
4 (20)
5 (40)
6 (40)
7
8
c k a g d h b i r

1-2. Pisonia. 3-7. Dioscorea 8. Phytolacca.

XIX.


3
1
2
5
6
4
7
8
p
a
b
c
d
m
l
r

1 Dioscorea. 5 Chamaedorea. 6 Euphorbia. 2-4 Cocculus *(Wurzel.)*
7,8 Phytolacca *(Wurzel.)*

Beiträge

zur

Wissenschaftlichen Botanik

von

Carl Nägeli,

Prof. in München.

Zweites Heft.

Die Bewegung im Pflanzenreiche. — Rechts und Links. — Ortsbewegungen der Pflanzenzellen und ihrer Theile (Strömungen). — Untersuchungen über den Flechtenthallus von Dr. S. Schwendener. — Ueber das angebliche Vorkommen von gelöster oder formloser Stärke bei Ornithogalum.

Mit 8 lithographirten Tafeln.

Leipzig,
Verlag von Wilhelm Engelmann.
1860.

Pag.
Bewegungen der Oscillarien und verwandter Pflanzen 89
Hin- und Hergehen nebst Drehen um die Achse . . . . . —
Strahlenförmiges Auseinanderweichen 91
Vereinigung in Bündel und Membranen 92
Bewegungen der Schwärmzellen 96
Regelmässigkeit der Bewegung . . . . . —
Bestimmung der Drehungsrichtung 97
Einfluss des Lichtes 102
Vereinigung der Schwärmzellen in Massen von bestimmter Form 106
Erklärung von Taf. VIII 108
Untersuchungen über den Flechtenthallus von Dr. S. Schwendener 109
Usnea 110
Struktur der Thallusenden 111
Trennung der Fasern in zwei Complexe: Mark und Rinde, veranlasst durch das Auftreten der Gonidien in der Thallusspitze 112
Die Rinde 115
Der solide Markstrang 120
Die Gonidien 125
Die Soredien 130
Das lockere Fasergeflecht 133
Die Verästlungen des Thallus 134
1. Dichotomie 134
2. Die Adventiväste 135
3. Die Sorediaäste 137
Befestigung des Thallus auf der Unterlage 139
Bemerkungen über das Verhalten der verschiedenen Arten oder Varietäten . 139
Wachsthumstypen der übrigen strauchartigen Flechten 140
Bryopogon 144
Cornicularia 149
Cetraria 151
Ramalina 155
Evernia 157
Hagenia 161
Sphaerophorus 163
Roccella 165
Thamnolia 167
Cladonia 168
Stereocaulon 173
Lichina 175
Zusammenstellung der Gattungen 177
Erklärung der Tafeln I — VII 179
Ueber das angebliche Vorkommen von gelöster oder formloser Stärke bei Ornithogalum . . 186

Die

Bewegung im Pflanzenreiche.

Ein populärer Vortrag vor einem gemischten Publikum.

Erster Abend *).

Bewegung ist Leben, Ruhe ist Tod, in der materiellen wie in der geistigen Welt. Todt nennen wir den Stein, den Krystall, den Leichnam, lebendig den in innerer und äusserer Bewegung begriffenen Organismus. Todt ist das Werkzeug, das Kunstwerk, der Buchstabe; der Geist aber ist lebendig.

Der Künstler greift einen Moment aus der Bewegung heraus und hält ihn fest. Die lebendige Wirklichkeit entzückt durch Bewegung und Wechsel, die Landschaft durch die wechselnde Beleuchtung, durch bewegtes Wasser und Laubwerk, das menschliche Antlitz durch das Mienenspiel. Das Kunstwerk entzieht gleichsam den schönsten Moment dem Wechsel. Aber wenn auch der Laie sagt, »das Bild lebt,« und der Künstler sich an der Technik, an der Art, wie es entstanden ist, freut, so müsste doch das idealste und schönste Bild bald kalt lassen, wenn es nicht bewegend auf den Geist des Beschauers wirkte, wenn es der Künstler nicht verstände, eine Fülle von Gefühlen und Gedanken lebendig zu machen.

Den Geist kennen wir überhaupt nur als Bewegung. In der Ruhe existirt er nicht für uns. Aber die geistige Bewegung hinterlässt Spuren ihrer Thätigkeit, innere Spuren, welche als Gedächtniss jeden Augenblick wieder lebendig werden können, äussere Spuren in Schrift- und Kunstwerken, welche uns die geistigen Bewegungen des Verfassers vorführen und in jedem Einzelnen analoge Bewegungen, übereinstimmende oder entgegengesetzte, hervorrufen. Wissenschaft und Kunst in ihrer mündlichen und schriftlichen Ueberlieferung sind das Gedächtniss der Menschheit, die Summe aller fixirten geistigen Bewegungen.

Die materielle Welt ist von der geistigen darin verschieden, dass wir die

---

*) Der Vortrag wurde an zwei Abenden, den 21. und 23. März 1859 im chemischen Hörsaal in München gehalten und durch Abbildungen erläutert. Dass derselbe in seinem populären Gewande in einer Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten erscheint, möge dadurch entschuldigt werden, dass ich einerseits die darin enthaltenen neuen Ideen dem naturwissenschaftlichen Publikum vorlegen, und anderseits verschiedenen, namentlich auch aus der Ferne mir ausgesprochenen Wünschen, den unveränderten Vortrag drucken zu lassen, entgegenkommen wollte, mich aber zu einer zweiten rein wissenschaftlichen Bearbeitung nicht entschliessen konnte. — Ich sah mich übrigens durch mehrere von der gewöhnlichen Darstellung abweichende thatsächliche Aussprüche zu einer besondern Besprechung über Rechts und Links und zu einer Zusammenstellung meiner bisherigen Beobachtungen über die microscopischen Bewegungen der Pflanzen veranlasst, welche dem Vortrage als besondere Aufsätze folgen.

ruhende Substanz unmittelbar wahrnehmen und von der in Bewegung begriffenen unterscheiden. Es scheint uns sogar, dass hier die Materie zum grössten Theil in Ruhe befindlich sei, und nur theilweise und zeitweise in Bewegung übergehe. Indess im Grunde ist diese Verschiedenheit gegenüber dem Geiste nur scheinbar. Die ruhende Materie ist immer das Product von vorausgegangener Bewegung. Wie in der geschriebenen mathematischen Formel, in dem Gesetzesparagraphen, in der Strophe des Gedichtes, in der Statue, in dem Chronometer eine Summe von geistigen Bewegungen feste Formen angenommen hat, so sind Berg und Thal das Resultat von materiellen Bewegungen, welche in der Erdrinde stattgefunden haben, — so erkennen wir im Organismus und in seinen Organen nichts anderes als den complizirten Erfolg von zahllosen Bewegungen der kleinsten materiellen Theilchen.

Aber wir können in der Vergleichung zwischen geistiger und materieller Welt noch weiter gehen. Auch die letztere ist in allen ihren Theilen in unaufhörlicher Bewegung. Einerseits bewegen sich alle Weltkörper, jeder seine Bahn durchlaufend, und in vollkommener Ruhe befände sich nur die Centralsonne, wenn sie existirte, wenn sie überdem weder sich drehte, noch hin und her schwankte. Anderseits befinden sich auch die kleinsten Massentheilchen, aus denen Alles zusammengesetzt ist, in beständiger zitternder, schwingender, drehender, fliegender Bewegung. Wie das geistige, so existirt auch das materielle Sein für uns nur, insofern es wirklich in Bewegung ist. Die Lichtstrahlen, die Wärmestrahlen, die elektrischen Strömungen, die Schallwellen, die Gerüche, — die von einem Körper ausgehen und uns seine Existenz anzeigen, — beweisen auch immer, dass seine Substanz in Action, dass seine kleinsten Theilchen nicht in Ruhe sind.

Die ganze materielle Welt und alle ihre einzelnen Theile sind also in unaufhörlicher Bewegung begriffen. Einen absoluten Stillstand giebt es nicht. Was wir Ruhe nennen, ist bloss ein relativer Begriff. Einem Gegenstand, der mit einem zweiten verglichen ruhend erscheint, schreiben wir Bewegung zu, wenn wir ihn auf einen dritten beziehen. — Der im Laufe oder in gymnastischer Uebung befindliche Körper ist in Bewegung; der stehende, sitzende, liegende, schlafende in Ruhe. Der schlafende Körper aber ist in Bewegung; der todte in Ruhe; in dem letztern hat der Schlag des Herzens, das Athmen der Lungen, die Ernährung aufgehört. Der todte Organismus aber ist bewegt und der Stein ist in Ruhe; denn in jenem sind eine Menge von Zersetzungsprocessen thätig, welche sogleich Veränderungen einleiten und mit Auflösung und Vernichtung enden, indess der Stein unverändert bleibt. Den Stein selbst aber würden wir bald bewegt, bald ruhend nennen, wenn wir mit hinreichend starker Vergrösserung seine kleinsten Theilchen sehen könnten, — wie die Sonnenstrahlen die Atome des Lichtäthers in seinen oberflächlichen Schichten in Aufruhr und Bewegung setzen, und wie die Nacht sie wieder beruhigt, — wie die kleinsten Theilchen bei einigen hundert Graden über Null in lebhafter Aufregung wimmeln, bei 20 und 30 Grad unter Null in träger Ruhe sich fortschleppen.

Ich habe einige Momente aus der mannigfaltigen Welt materieller Erscheinungen herausgegriffen: den Stein in der Dunkelheit und Kälte, den Stein im Licht und in der Hitze, den todten Organismus, den lebenden schlafenden und den lebenden Organismus in gymnastischer Arbeit. Diese Beispiele zeigen uns, wie wir die gleiche Erscheinung bald bewegt, bald ruhend nennen, je nachdem wir sie mit einer andern mehr oder minder bewegten vergleichen; sie zeigen uns, dass die Begriffe Bewegung und Ruhe wandelbar sind und bestimmt werden durch den Maassstab, mit dem wir messen, durch den Standpunkt, von dem aus wir urtheilen. — Der Punkt, dem wir Bewegung zuschreiben, verändert seine Lage zu andern Punkten, die wir als ruhend betrachten; die letztern aber können ihrerseits selber in Bewegung sein. So wäre es selbst möglich, dass der von uns als ruhend bezeichnete Gegenstand in Bewegung und der als bewegt betrachtete in relativer Ruhe sich befände. Sie haben alle sich einmal an dem Schäfer ergötzt, welcher vor dem Kaiser den Abt spielt.

Nun aber sollst du mir bezeichnen und sagen,
Wie bald ich zu Rosse die Welt mag umjagen?

Und Hans Bendix antwortet:

Herr, wenn mit der Sonn' ihr fruh sattelt und reitet,
Und stets sie in einerlei Tempo begleitet,
So setz' ich mein Kreuz und mein Käppchen daran,
In zwei Mal zwölf Stunden ist Alles gethan.

Wer hat nicht bei diesem Vers sich die schwindelnde Schnelligkeit vorgestellt, mit welcher der Kaiser gleichwie auf einem Zauberpferd die Lüfte durchsaust, um in 24 Stunden den Erdball zu umjagen und nach einem Ritt von 3500 geographischen Meilen Morgens um 6 Uhr wieder in seinen Hof einzulenken, von dem er um 6 Uhr des gestrigen Morgens ausgeritten war. In der That aber hat er sich nicht von der Stelle bewegt; er ist gegenüber der aufgehenden Sonne stehen geblieben; er hat die Erde unter den Füssen seines flüchtigen Renners sich drehen lassen; er hat sein Pferd zu Schanden geritten, ohne vom Platze zu kommen. — Wir haben in diesem Beispiele drei Punkte, die Sonne ruhend gedacht, einen fixen und einen beweglichen Punkt der Erdoberfläche; der letztere ist in Ruhe oder er ist in Bewegung, je nachdem wir ihn auf die erstere oder auf den zweiten beziehen.

Alle materiellen Bewegungen gehören drei verschiedenen Kategorieen an. Ein Gegenstand verändert seine Stelle im Raum, d. h. seine Lage zu andern Gegenständen. Es ist die Bewegung des abgeschossenen Pfeiles. In ihrer einfachsten Form erscheint sie geradlinig; noch sehr einfach ist die Kreislinie, die Schraube, die Ellipse, Parabel, Hyperbel. Gewöhnlich sind die Bewegungen viel complizirter; schon die Bahn der Flintenkugel entzieht sich bis jetzt der mathematischen Darstellung; und denken wir erst an die Theilchen des Luftmeers, des Oceans, der Blutmasse, an die unwillkührlichen Bewegungen der Pflanzen und die launenhafteren des Thieres, so haben wir es mit Bahnen zu thun, welche auf bestimmte Regeln zurückzuführen und genau wiederzugeben ganz unmöglich ist.

Aber nicht bloss der Gegenstand, der seine räumliche Lage verändert, befindet sich in Bewegung. Eine Kugel, die auf dem nämlichen Platze sich um ihre Achse dreht, ist es ebenfalls. Das wogende Meer, die stürmende Atmosphäre nennen wir bewegt, obgleich sie ihre Stelle nicht verlassen. In Bewegung ist der Ameisenhaufen, der Bienenstock, die Blutmasse, der lebende ruhende Organismus, die in chemischer Zersetzung begriffene Substanz, die Fensterscheibe, durch welche das Licht in Ihr Zimmer fällt. Ich will diese Bewegung, um sie von der erstern oder der Ortsbewegung zu unterscheiden, fortan die Innenbewegung nennen. Die Innenbewegung kommt nur an dem zusammengesetzten Körper vor; sie ist die Summe der Ortsbewegungen seiner Theile, und um so einfacher, je mehr diese mit einander übereinstimmen, wie das z. B. bei der drehenden Kugel der Fall ist, — um so complizirter, je mehr die Ortsbewegungen der Theile von einander abweichen, wie in der Pflanze und im Thier.

Es giebt noch eine dritte Art von Bewegungen. Denken Sie sich auf einem sehr langen Billard viele Kugeln, die genau in einer geraden Linie in einiger Entfernung von einander aufgestellt sind, und ein geschickter Spieler schiebt den ersten Ball mitten auf den zweiten. Der erste Ball setzt den zweiten in Bewegung, indem er an dessen Stelle stehen bleibt. Der zweite theilt auf gleiche Art seine Bewegung dem dritten, der dritte dem vierten mit, und so weiter. Der Vorgänger bleibt nahezu auf dem Platze seines Nachfolgers, der statt seiner den Lauf fortsetzt. So kommen nach und nach alle Kugeln in Bewegung, indem eine die andere ablöst, und alle zusammen führen den Lauf aus, den die erste für sich ausgeführt hätte, wenn sie allein auf dem grünen Plan gewesen wäre. — Wenn aber ein Ball den andern nicht genau in der Mitte trifft, oder mit demselben nicht gleiche Grösse hat, so setzt er ihn nicht bloss in Bewegung, sondern er rollt selbst auch weiter. Und beide Bälle können in gleicher Weise andere anstossen. Alle Kugeln eines Billards rollen am Ende durch einander. Ich will die Bewegung der beiden Beispiele die Kettenbewegung nennen. Sie besteht darin, dass die Ortsveränderung eines Körpers ganz oder theilweise auf einen andern übertragen wird. Zu ihr gehört die Wellenbewegung, wo ein Theilchen seine Schwingungen je dem nächsten mittheilt.

Aber nicht bloss die Ortsbewegung, auch die Innenbewegung kann zur Kettenbewegung werden, wie das in der organischen Welt bei der Erzeugung neuer Individuen der Fall ist. Wie der Ball seine Ortsbewegung auf den nächsten Ball überträgt, so geht aus dem Organismus ein Theil seiner Innenbewegung oder seines Lebens in den von ihm erzeugten Keim über, und die Kette der auf einander folgenden Generationen stellt eine Bewegung dar, die im Princip von jener der Billardkugeln nicht abweicht.

Die Grundlage und den Anfang aller Bewegung bildet die Ortsbewegung. Sie wird zur Kettenbewegung, indem sie sich von einem Objekt auf das andere fortpflanzt. Viele Ortsbewegungen zusammen stellen als Theile die Innenbewegung eines Ganzen dar. Die Innenbewegung selbst, die nicht in ihrem Träger bleibt, sondern durch eine Reihe von Trägern hindurchgeht, in dem je der eine sie auf einen oder mehrere andere überträgt, wird zum Element einer Kettenbewegung höherer Ordnung.

Ortsbewegung, Innenbewegung und Kettenbewegung setzen in mannigfaltiger Verschlingung die Erscheinungen im Pflanzenreiche zusammen. Eine Betrachtung aller Bewegungen schliesst somit eigentlich die ganze wissenschaftliche Botanik in sich. Ich will bloss einige Momente hervorheben und Ihnen zeigen, wie sich die Wissenschaft, von diesem neuen Standpunkte aus betrachtet, ausnimmt.

Ich wende mich zuerst zu den elementarsten Bewegungen, aus denen alle andern sich zusammensetzen und welche der Pflanzensubstanz mit aller Materie gemeinsam sind, zu den Bewegungen der kleinsten Theilchen, der Molecüle, der Atome. Wegen ihrer unendlichen Kleinheit sehen wir sie zwar nicht unmittelbar. Aber wir sehen, hören, riechen, schmecken, fühlen die Gesammtwirkungen von Tausenden und Millionen bewegter Molecüle, und schliessen daraus auf das Verhalten des einzelnen.

Nach der Vorstellung der Physik bestehen die Körper aus kleinsten Theilchen, welche sich nicht berühren, sondern in bestimmten Entfernungen von einander in dem leeren Raum schweben, wie die Himmelskörper im Weltenraum, und die sich desswegen einander nähern und von einander entfernen können. Ein Stück Eisen, welches erhitzt wird, dehnt sich aus; in der Kälte zieht es sich zusammen. Im erstern Fall entfernen sich die Eisenatome, im zweiten nähern sie sich gegenseitig. Zwischen diesen kleinsten Theilchen der Materie oder den wägbaren Atomen, wie sie auch genannt werden, befinden sich noch viel kleinere, die unwägbaren oder Aetheratome, so klein und so weit von einander, dass man ihre Masse nicht wägen kann, wenn sie auch einen gegebenen Raum ganz ausfüllen. In dem luftleeren Raum des Barometers, in dem Weltenraum zwischen den Himmelskörpern befinden sich bloss diese unwägbaren Atome. Unaufhörlich in Bewegung transportiren sie Licht und Wärme von einem Himmelskörper und von einem Gegenstand der Erdoberfläche zum andern.

Wir kennen die Bewegungen der kleinsten Theilchen fast ausschliesslich aus dem Studium der unorganischen Körper. Sie sind aber in gleicher Weise in den Organismen thätig. Die Pflanzen senden uns Licht- und Wärmestrahlen zu; sie grüssen uns durch die Gerüche, indem sich Atome flüchtiger Verbindungen von ihrer Oberfläche ablösen und in der Luft verbreiten. Aber auch in ihrem Innern sind die kleinsten Theilchen in unaufhörlicher Bewegung, weil fortwährend Veränderungen der Temperatur, elektrische Strömungen, chemische Processe und Stoffwechsel thätig sind.

Manche der moleculären Bewegungen zeigen eine für unsere Begriffe unfassliche Geschwindigkeit. Die Licht- und Wärmestrahlen durchlaufen 42,000 geogr. Meilen in 1 Secunde. Der elektrische Strom hat oft eine ähnliche Schnelligkeit. Die Schallwellen legen in der Luft immer noch 1020 Par. Fuss in 1 Secunde zurück, und im Tannenholz, woraus die Resonanzböden gefertigt werden, gehen sie 18 mal geschwinder. Wir dürfen indess nicht übersehen, dass alle diese Bewegungen Wellenbewegungen sind, wobei die Atome nicht merklich von ihrer Stelle sich entfernen, sondern hauptsächlich nur um eine Gleichgewichtslage oscilliren, d. h. hin und her schwingen.

Die wirklichen und dauernden Ortsveränderungen der ponderablen Atome geschehen unendlich viel langsamer als diese strahlenden Bewegungen. In festen Körpern finden sie überhaupt nicht statt, und in Flüssigkeiten sind sie äusserst träge. Wenn Sie ein Stück Zucker in Wasser werfen, so löst es sich auf, und die Zuckeratome verbreiten sich im Wasser, demselben einen süssen Geschmack verleihend. Ist die Flüssigkeit ganz ruhig und vor Erschütterungen, welche ihre Theilchen in Strömungen versetzen, geschützt, so dauert es sehr lange, bis die Zuckeratome sich gleichmässig darin vertheilt haben. Sie würden selbst nach geraumer Zeit fast reines Wasser zu trinken bekommen, wenn Sie die Mischung den Molecularkräften überlassen wollten; und Sie werden daher zu der wirksamern Vermittelung des Löffels greifen.

Die moleculären Ortsbewegungen setzen die Innenbewegung oder das Leben der Körper zusammen. Den Krystall nennen wir todt; denn von dem Moment an, wo er fertig gebildet ist, finden in seinem Innern gewöhnlich nur diejenigen moleculären Bewegungen statt, welche durch Licht und Wärme, sowie durch andere Erschütterungen verursacht werden, und welche keine dauernden Veränderungen herbeiführen.

Wie Ihnen ein geistreicher früherer Vortrag*) ausgeführt hat, knüpft das Leben der Pflanze unmittelbar an die unorganische Natur an, während das thierische Leben sich auf demjenigen der Pflanze aufbaut. Die einfachsten Bewegungen in der Pflanzenwelt beginnen unmittelbar mit den unorganischen Atombewegungen. Wasser, Kohlensäure, Ammoniak, Sauerstoff, die Mineralsalze treten in die Pflanze hinein. Sie setzen hier zunächst noch die Bewegungen fort, die sie schon ausserhalb der Pflanze zeigten. Bald indess beginnen sie unter dem Einfluss der neuen und eigenthümlich combinirten Verhältnisse der lebenden Pflanzensubstanz neue moleculäre Bewegungen; sie gehen Zersetzungen ein und schliessen Verbindungen, die der unorganischen Natur fremd sind. Es entstehen die organischen Stoffe, Säuren, Zucker, Stärkemehl, Holz, Fette, ätherische Oele, Wachs, Farbstoffe, eiweissartige Substanzen.

Dass die moleculären Bewegungen innerhalb der Pflanze andere, und zwar complizirtere sind, als in der unorganischen Natur, erkennen wir nicht bloss aus den verschiedenen chemischen Produkten, sondern auch aus der verschiedenen Formbildung. Manche der in den Organismen gebildeten Stoffe treten zwar in Tropfen- und Krystallgestalt auf, wie die Produkte der unorganischen Natur;

---

*) Ueber das Verhalten der Ackerkrume von Freiherr *von Liebig*.

ein Fetttropfen und ein Zuckerkrystall sind, was den allgemeinen Character der moleculären Beziehungen betrifft, nicht verschieden von einem Wassertropfen und einem Kochsalzkrystall. Mehrere der organischen Verbindungen aber (und es sind diess gerade diejenigen, aus denen der Thier- und Pflanzenleib aufgebaut ist) organisiren sich zu microscopischen Körnern, Fasern, Membranen, Zellen. — Das Wesen der organisirten Substanzen besteht darin, dass sie mit der allerfeinsten Porosität begabt, das Wasser begierig aufnehmen. Wahrscheinlich treten die Atome der organischen Verbindung zu Molecülen oder winzigen krystallähnlichen Bildungen zusammen. Im befeuchteten Zustande sind die letztern von einander entfernt, und schweben jedes in der Wasserhülle, welche es umgiebt, wie die Atome der unorganisirten Stoffe im Weltäther, beide gehalten und fest verbunden durch die Molecularkräfte. Wie der Licht- und Wärmeäther zwischen den Atomen der unorganisirten Stoffe, so bewegt sich das Wasser zwischen den Molecülen der organisirten. Es führt gelöste Stoffe, theils gleichartige, theils fremdartige, von aussen herein. Es veranlasst dadurch das Wachsthum der Molecüle, die Bildung von neuen, die Veränderung, Zerstörung und Auflösung der schon vorhandenen *). So vermittelt das Wasser, welches die organisirten Stoffe durchdringt, die continuirlichen Veränderungen in denselben, und diese Veränderungen bedingen das Leben der Organismen.

Ich will die niedrigsten und einfachsten Formen, in denen die organisirten Gebilde auftreten, übergehen und mich gleich zur Zelle wenden. Sie ist das Elementarorgan, aus welchem alle Pflanzentheile bestehen. Gewöhnlich von microscopischer Kleinheit, entzieht sie sich dem unbewaffneten Auge. Das Holz erscheint uns als ziemlich homogene Masse; das Microscop zeigt uns den zelligen Bau. Die Zelle stellt eine kleine Blase dar, deren Membran aus Holzsubstanz besteht. Sie ist mit Wasser gefüllt, in welchem verschiedene unlösliche Stoffe in organisirter und unorganisirter Form liegen können. Die Zellen sind mit einander verwachsen und zu Geweben vereinigt. Gleichwohl bleiben sie bis auf einen gewissen Grad individuelle Gebilde, und trennen sich zuweilen durch einen natürlichen Process von einander. Sie können meistens auf künstlichem Wege isolirt werden. In den mehligen Früchten ist das Gewebe in die einzelnen Zellen zerfallen; jedes Stäubchen des Pulvers ist eine solche. Die gekochte mehlige Kartoffel verhält sich wie der mehlige Apfel; in dem Erbsenschleim finden wir die einzelnen unversehrten Zellen der Erbsen.

Die Zelle, so klein sie ist, und obgleich sie als das Elementarorgan bezeichnet wird, ist doch schon ein sehr complizirter Organismus. Sie besteht aus Theilen, die selbst vielfach zusammengesetzt sind, und ihre Lebensbewegung stuft sich mannigfaltig ab, bis wir bei den moleculären Bewegungen anlangen. Von denjenigen Bewegungen, welche der Grösse der Objecte wegen dem Microscop zugänglich sind, geschehen die meisten so langsam, dass man sie nicht unmittelbar

---

*) Die moleculäre Beschaffenheit der organisirten Substanzen habe ich weitläufiger besprochen in meinem Werk über die „Stärkekörner“, S. 332 ff.

sehen, sondern nur aus dem Erfolg erschliessen kann. So verhält es sich mit allen Erscheinungen des Wachsthums. Nur wenige Bewegungen, die mit der Ernährung, der Fortpflanzung, der Zersetzung verbunden sind, besitzen eine hinreichende Geschwindigkeit, um dem bewaffneten Auge zugänglich zu sein.

Die flüssigen und festen Stoffe des Zelleninhaltes zeigen verschiedene Strömungen. In den Zellen mancher Wasserpflanzen rotirt die Flüssigkeit sammt allen nicht fest der Membran anhaftenden unlöslichen Theilen; sie bildet einen Strom, welcher fortwährend ringsum geht. Es ist die Bewegung eines Rades, das sich in einer Hülse dreht. Bemerkenswerth an dieser Rotationsströmung ist, dass sie in einer Zelle immer den längsten Weg einschlägt; in einer langen und schmalen Zelle geht sie nicht etwa quer zur Längsaxe, sondern parallel mit derselben. Bemerkenswerth ist ferner, dass die Bewegung an der Oberfläche, d. h. dicht an der Zellmembran am schnellsten ist und nach der Mitte der Zellhöhlung rasch abnimmt, so dass die Strömung in der oberflächlichen Flüssigkeitsschicht mehrmals um die Zelle geht, während sie in einer tiefern Schicht einen einzigen Umlauf vollendet. Die natürliche Folge davon ist, dass freischwimmende Körper sich nicht bloss vorwärts bewegen, sondern auch durch Ueberstürzen um ihre Achse drehen, also eine Bewegung ausführen, die in ihrem allgemeinen Charakter mit der Bewegung der Erde um die Sonne übereinstimmt.

In den Zellen vieler Landpflanzen beobachtet man fadenförmige Strömungen. Der halbflüssige Schleim bildet Strömchen, welche das Aussehen von Fäden haben, und theils an der innern Fläche der Membran verlaufen, theils frei durch die Höhlung ausgespannt sind. Gewöhnlich haben sie eine radienförmige Anordnung. Von einem Strömungscentrum, durch eine grössere Inhaltspartie gebildet, gehen stärkere Strömungsfäden aus; sie theilen sich wiederholt, bis sie als feinere Strömchen an den fernsten Punkten der Zelle angelangt, umbiegen, und nach und nach sich wieder vereinigend als stärkere Fäden zum Ausgangspunkt zurückkehren. In den von dem Strömungscentrum entfernteren Stellen vereinigen sich die Strömchen netzförmig. Selten sind, bei gänzlicher Abwesenheit eines maassgebenden Centrums alle Strömungsfäden in einer Zelle zu einem Netz vereinigt, in dessen einzelnen Maschen die Bewegung bald nach der einen, bald nach der andern Seite erfolgt. Selten auch zeigt die radienförmige Strömung die Form eines Springbrunnens; ein starker Strom steigt mitten durch die cylindrische oder ovale Zelle empor, und theilt sich, an der Decke der Zelle angelangt, garbenartig in viele schwache Strömchen, welche längs der Seitenfläche nach unten gehen und auf dem Boden der Zelle sich wieder zu dem centralen Strom sammeln.

Diese Strömungen sind nicht die einzige Bewegung, welche der Zelleninhalt zeigt. Wenn man eine Zelle zerreisst, und die darin enthaltenen Körnchen ins Wasser heraustreten, so beginnen dieselben zu zittern, hüpfen, tanzen, ohne von der Stelle zu rücken. Man hat diess Molecularbewegung genannt, zu einer Zeit, wo wenigstens die Pflanzenphysiologie noch nicht von den Bewegungen der Molecüle sprach. Jetzt sind Molecularbewegungen wie Molecularkräfte Begriffe, die den kleinsten unsichtbaren Theilchen reservirt werden müssen. Ich will jene

Erscheinung einstweilen Tanzbewegung nennen. Sie kommt auch innerhalb der Zellen vor; ist aber hier nie ein Ausdruck des Lebensprocesses, sondern, wie ich glaube, immer ein Beweis, dass der körnige Zelleninhalt in krankhafter Veränderung, im Absterben, in Zersetzung und Auflösung begriffen ist. Bei einzelligen Pflänzchen findet man zuweilen bestimmte Theile des Inhaltes und diese wohl auch an bestimmten Stellen des Zellraums in tanzender Bewegung. Closterium, aus einer spindelförmigen Zelle bestehend, hat an jedem Ende in dem Schleime einen Hohlraum, in welchem fortwährend einige Körnchen lebhaft herumhüpfen.

Eine andere analoge Erscheinung habe ich unlängst Glitschbewegung genannt. Die Körnchen des Inhaltes glitschen auf der innern Fläche der Zellwand oder auch auf der glatten Oberfläche von Schleimmassen hin und her. Dass diese Bewegung in ihrer physiologischen Bedeutung sich der Tanzbewegung nähere, schliesse ich namentlich daraus, weil die nämlichen Körnchen abwechselnd sich auf die eine und die andere Art herumtummeln, je nachdem sie frei in der Flüssigkeit schwimmen oder eine Oberfläche berühren. Aus dem vorhin erwähnten Hohlraum in Closterium entschlüpft hin und wieder einer der kleinen Tänzer, um sich unter die zahlreichen Schlittschuhläufer zu mischen, die die innere Fläche der Zellwand bedecken, und hin und wieder kehrt auch wohl einer der Schlittschuhläufer in den engen Tanzsaal zurück.

Diese Erscheinungen gehören der Innenbewegung der Zelle an. Der ganze Zelleninhalt oder Partieen desselben zeigen zuweilen, bei der Erzeugung neuer Zellen, dauernde Ortsveränderungen; sie verlassen ihre bisherige Stätte, um an einem andern Orte fortzuleben. Bei den Zygnemaceen, die zu den Wasserfäden gehören, wandert der Inhalt einer Zelle durch einen Canal in die Höhlung einer andern Zelle, und bildet mit dem Inhalte der letztern vereint einen einzelligen Samen. Oder die Inhalte der beiden Zellen setzen sich in Bewegung und begegnen sich auf halbem Wege, wo sie sich zu gleichem Zwecke vereinigen.

Die Zellen selbst, wenn sie frei im Wasser schwimmen, besitzen nicht selten Ortsbewegung; und wie die einzelnen Zellen verhalten sich auch einige Gebilde, die aus mehreren mit einander verbundenen Zellen bestehen. Es versteht sich, dass diese Bewegungen ebenfalls nur unter dem Microscop sichtbar sind. Einzellige Pflänzchen von ovaler oder spindelförmiger Gestalt (Diatomaceen, Desmidiaceen) schwimmen langsam herum, bald vor- bald rückwärts, ohne sich zu drehen. Fadenförmige, aus einer Reihe von Zellen bestehende Pflänzchen (Oscillarien) bewegen sich langsam, indem sie sich um ihre Achse drehen. Dabei ist das gebogene Ende bald nach rechts, bald nach links geneigt, und scheint pendelförmige Schwingungen zu machen, wesswegen diese Pflanzen den Namen Schwingfäden erhalten haben. Aehnliche Fäden, aber kleiner und korkzieherförmig (Spirillum, Spirulina) haben eine gleiche nur viel lebhaftere Bewegung; es ist, als ob eine kleine Schraube sich im Wasser vorwärts bohrte. Viele einzellige Pflänzchen (Palmellaceen) und einzellige Samen von manchen niedern Wasserpflanzen (Wasserfäden), beide von kugeliger, birnförmiger, ovallänglicher Gestalt zeigen, eine Bewegung, die von der eben genannten in nichts verschieden ist. Sie gehen rasch vorwärts und drehen sich, wobei die Drehungsachse mit der Richtung, in der sie schwimmen, zusammentrifft. Auch kugelige und tafelförmige Gruppen von einzelligen Pflänzchen tummeln sich in gleicher Weise im Wasser herum. — Man hat diess die Schwärmbewegung genannt; schwärmende Zellen haben die grösste Aehnlichkeit mit Infusorien.

Wenn die Zellen grün sind, so bewegen sie sich in der Regel nach dem Lichte hin. In einer Wasserschüssel, die am Fenster steht, sammeln sie sich alle an dem Rande, der dem einfallenden Lichte zugekehrt ist; und wenn man dann die Schüssel umdreht, so ziehen sie alle quer hinüber nach dem entgegengesetzten Rande, — wie sich die Blätter und die Zweige der höhern Pflanzen nach der Sonne kehren. Diess ist auch der Grund, warum die grünen Schwärmzellen alle an die Oberfläche des Wassers kommen und dort bleiben, obgleich sie spezifisch schwerer als Wasser sind und, zur Ruhe gelangt, niedersinken. Ich umwickelte eine senkrechte, gegen 3 Fuss lange mit Wasser und grünen Schwärmzellen gefüllte Glasröhre mit schwarzem Papier. Die grünen Pflänzchen waren alle an der Oberfläche, wenn das Licht von oben, sie sammelten sich auf dem Grunde, wenn es von unten einfiel. Unter dem Microscop bewegen sie sich nach allen Richtungen, weil sie hier von allen Seiten beschienen sind. — Die farblosen Zellen bewegen sich nie in einer bestimmten Richtung; man findet sie daher überall im Wasser, an der Sonnen- und an der Schattenseite, an der Oberfläche und in der Tiefe.

Viele der mit selbständiger Ortsbewegung begabten Zellen haben dünne und lange Wimpern an dem einen Ende, sind wohl auch ganz mit kurzen Wimpern behaart. Man hat diess als die Ruderorgane betrachtet, vermittelst welcher sie herumschwimmen. Das wimpertragende Ende geht immer voran. An andern sich bewegenden Zellen konnte noch nichts von solchen Wimpern oder überhaupt von äussern locomotorischen Werkzeugen beobachtet werden.

Man war früher so sehr von der Vorstellung beherrscht, das Thier besitze Ortsveränderung, die Pflanze dagegen nicht, dass man zuerst die kleinen herumschwimmenden Pflänzchen für Thiere hielt. Dann wurde die Entdeckung gemacht, dass manche dieser Schwärmzellen Pflanzensamen sind, dass sie von kleinen Wasserpflänzchen hervorgebracht werden, und, nachdem sie einige Zeit herumgeschwommen sind, wieder zu Pflanzen sich entwickeln. Nun sagte man, die Pflanze führe zeitweise ein thierisches Leben, oder sogar, es verwandle sich die Pflanze in ein Infusorium und dieses wieder in eine Pflanze. Die Phantasie that das Ihrige; sie sah an den vermeintlichen Thieren auch thierische Organe. Den Oscillarienfäden wurde am Anfang dieses Jahrhunderts Kopf und Schwanz und noch vor 23 Jahren ein Kopf, mit welchem sie herumtasten, beigelegt. Auch die Art der Bewegung erregte mehrfach Bedenken; selbst im Anfang dieses Jahrzehents sagte eine bekannte Pflanzenphysiologie, die Bewegungen der Oscillarien hätten etwas Seltsames, sogar Unheimliches, und ihre Stellung im Pflanzenreiche scheine noch zweifelhaft; und im Jahr 1855 behauptete ein Beobachter abermals, ihre Bewegungen näherten sich den willkührlichen.

Die Frage betreffend die selbständigen Ortsbewegungen der einzelligen und wenigzelligen Pflänzchen ist zwar weit entfernt von einem Abschlusse. Sie wird es erst sein, wenn wir die Bewegungsursache kennen. Bis dahin ist auch die Grenze zwischen Thier- und Pflanzenreich, zwischen Infusorien und Schwärmpflänzchen unsicher. Man sagt gewöhnlich, die Bewegungen des Thieres seien willkührlich, diejenigen der Pflanzen unwillkührlich. Dieser Grundsatz als richtig anerkannt, so stösst doch seine Anwendung auf grosse Schwierigkeiten. Die Pflanzen, von denen ich gesprochen habe, schwimmen vorwärts, mit oder ohne Drehung um ihre Achse. Ist die Bewegung langsam und ohne Hemmung, so zeigt sie sich vollkommen regelmässig. Sie wird um so unregelmässiger, je mehr sich ihre Geschwindigkeit steigert, je unsymmetrischer die Vertheilung der Masse und die Gestalt ist, je zahlreicher die Hindernisse und Reibungswiderstände, die ihr im Wege stehen. Ich glaube mit Zuversicht, dass alle Unregelmässigkeiten und scheinbaren Willkührlichkeiten der Schwärmbewegung von niedern Pflänzchen sich aus den mannigfaltigen Störungen erklären lassen, welche die stetig wirkenden mechanischen Ursachen nachweisbar erfahren. Aber schwieriger möchte es sein, darzuthun, worin die Willkührlichkeit der niedrigsten und einfachsten Infusorien besteht. Der Uebergang vom Pflanzenreich ins Thierreich scheint in diesen microscopischen Regionen jetzt noch so allmälig, dass erst ein neues Licht über dieselben aufgehen und sie erhellen muss, ehe eine Abgrenzung nach feststehenden Begriffen möglich wird.

Die Bewegung der Schwärmzellen wird gewöhnlich als äusserst lebhaft beschrieben, und es ist die Schnelligkeit, womit sie sich herumtummeln, kein geringer Grund, warum man sie als thierisch bezeichnete. Man hat dabei oft vergessen, dass man durch die Brille des Microscops sieht, und dass die Schwärmzellen in Wirklichkeit viel träger sind, als sie es zu sein scheinen. Wenn wir sie mit einer 300maligen linearen Vergrösserung betrachten, so erscheint uns nicht bloss die Zelle selbst 300 mal grösser, sondern auch die Bewegung 300 mal schneller; denn der Raum, der in einer gegebenen Zeit durchlaufen wird, ist ja unter dem Microscop auch 300 mal länger geworden*). Eine Taschenuhr, unter das Microscop gelegt, zeigt schon bei 100 maliger Vergrösserung die Spitze des langen Zeigers in ziemlich rascher, zitternd-stossweiser Bewegung, die Spitze des kurzen Zeigers in äusserst langsamem kaum wahrnehmbarem Fortrücken. Die langsamste stetige Bewegung des Zelleninhaltes beobachtete ich in Charen bei 1° Wassertemperatur, die schnellste in der gleichen Pflanze bei einer Wärme des Wassers von 37° Celsius. Die Länge eines Fusses, wenn man die Bewegung auf dieses Maass berechnet, wird dort in 50 Stunden, hier in ½ Stunde durchlaufen. Diatomaceen legen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur 1 Fuss in 14 bis 21 Stunden zurück; sie gehen also etwa 6 mal langsamer als die Spitze des langen Zeigers einer Taschenuhr. Die Schwärmzellen brauchen meistens etwa eine Stunde, die schnellsten bloss ¼ Stunde, um den Weg von 1 Fuss zu durchlaufen. Die flinkesten kommen in ihrer Bewegung der Spitze des langen Zeigers einer Uhr gleich, deren Zifferblatt 1¼ Fuss im Durchmesser hat, und bleiben weit hinter der trägsten Schnecke zurück. Ohne Vergrösserung würde man, auch wenn die Pflänzchen vollkommen deutlich wären, ihre Bewegung wegen der Langsamkeit nicht sehen. — Die Infusorien schwärmen kaum schneller als die Pflanzenzellen. Statt von der lebhaften thierischen Bewegung der letztern, würde man mit grösserm Rechte von der trägen pflanzenähnlichen Bewegung der erstern sprechen.

---

*) Das Microscop bringt die Gegenstände unserm Auge gleichsam näher. Eine Bewegung erscheint um so schneller, je weniger entfernt sie ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher der nächste Fixstern (die Erde in Ruhe gedacht) am Firmamente dahin eilt, übertrifft das Licht 6000 mal; und dennoch scheint er, wegen seiner ungeheuren Entfernung, stille zu stehen.

Ob die Bewegung eines Körpers uns geschwind oder langsam erscheine, hängt aber auch von dem Verhältniss seiner Grösse zu dem in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Raume ab. Wenn ein Elephant und eine Maus in der nämlichen Zeit eine gleiche Wegstrecke machen, so nennen wir den erstern langsam, die zweite geschwind. Der Mensch legt im Gehen während 1 Secunde etwas mehr als die Hälfte seiner Länge zurück. Die schnellsten Schwärmzellen durchlaufen in der nämlichen Zeit einen Raum, der 2½ mal so gross als ihr Durchmesser ist; die Diatomaceen nur den 10. Theil ihrer Länge und kurze Oscillarienfäden bloss den 100. Theil ihrer Länge, lange noch viel weniger *).

Die Bewegungen der kleinsten Theilchen sammeln sich gruppenweise; die Gruppen treten zu höhern Complexen zusammen. Die Totalität aller dieser Bewegungen ist die Innenbewegung oder das Leben der Zelle, eine einheitliche Erscheinung, welche, wie alles Individuelle, seinen Anfang und sein Ende hat.

Eine elastische Kugel kann eine Mehrzahl von elastischen Kugeln nach einander in Bewegung setzen, so dass die Kettenbewegung von der einen auf die andere übertragen wird. In gleicher Weise wird die Zelle Element einer kettenartig verknüpften Bewegung. Sie trägt ihre Lebensbewegung auf mehrere Tochterzellen über. Ein einzelliges Pflänzchen erzeugt 2 oder viele Zellen, die, von einander getrennt, die Lebensbewegung der Mutterzelle fortsetzen. — Zwischen Kugeln und Zellen besteht eine Verschiedenheit. Die 10 elastischen Bälle, die durch einen einzigen in Bewegung gesetzt wurden, besitzen zusammen bloss die Bewegungskraft dieses Einen. Von den 10 Zellen, die von einer einzigen abstammen, erlangt jede die dieser Einen an Intensität gleiche Bewegung **).

---

*) Die Erde legt in 1 Secunde etwa 4 geogr. Meilen zurück, also den 420. Theil ihres Durchmessers.

**) Diese Verschiedenheit ist kein Grund, die beiden Bewegungen nicht als die nämliche zu betrachten. Beiden liegt die gleiche Erscheinung zu Grunde, dass nämlich die Bewegung eines Körpers sich in einem oder mehreren andern Körpern fortsetzt; beiden ist auch gemeinsam, dass die Uebertragung in bestimmter gesetzmässiger Weise geschieht. Die übertragene Bewegung hat natürlich in dem neuen Körper ursprünglich immer die gleiche Grösse, wie in demjenigen, von dem sie unmittelbar herstammt. Aber sie kann mit der Zeit abnehmen oder zunehmen, je nachdem vorhandene Bewegungselemente zerstört oder neue hinzugefügt werden.

Bei den einzelligen Pflanzen trennen sich die Schwesterzellen von einander. In den mehrzelligen bleiben sie mit einander verbunden, durch Adhäsion in ein Zellgewebe verwachsen, und stellen eine Summe von Bewegungen dar, welche ungefähr um so vielmal die Summe der Bewegungen der ursprünglichen Zelle übertrifft, als die Zahl der an ihre Stelle getretenen Zellen beträgt. Auf dieser Vereinigung von individuellen Bewegungen beruht das Wesen der Pflanze und ihrer Organe. Jede Pflanze und jedes einzelne Organ beginnt, wenn wir es zurück verfolgen bis auf seinen allerersten Anfang, als einfache Zelle, und seine ganze Entwickelung, sein ganzes Wachsthum besteht darin, dass von dieser Zelle und ihren Abkömmlingen neue Zellen erzeugt werden.

Der Vorgang ist fast ohne Ausnahme folgender. Denken Sie sich eine Zelle, mit welcher eine Pflanze oder ein Organ beginnt. Diese Zelle erzeugt 2 Tochterzellen, oder wie man gewöhnlich sagt, sie theilt sich in 2 Zellen. Dieselben besitzen zusammen die ganze Masse der Mutterzelle, welche natürlich in dem Moment, in welchem die Tochterzellen ins Dasein treten, aufhört zu existiren. Die Gesammtsumme der Lebensbewegungen der Mutterzelle vertheilt sich unter ihre beiden Töchter. Diese wachsen heran; durch Ernährung vermehrt jede derselben die Summe ihrer Lebensbewegungen, ihr Volumen und ihre Masse, bis sie der Mutterzelle ungefähr gleich geworden ist. Dann theilen sich die Tochterzellen, wie es die Mutterzelle that, und die Enkelinnen sowie die spätern Generationen folgen dem Beispiel; jede theilt sich in zwei. Wenn die Theilung in allen Zellen aufgehört hat, und die Zellen der letzten Generation nicht mehr an Volumen zunehmen, so ist das Organ ausgewachsen. Im Allgemeinen steht die Grösse eines Pflanzentheils und die Zahl seiner Zellen in direktem Verhältniss zu einander; je grösser der Theil, desto zahlreicher die ihn zusammensetzenden Zellen.

Das Wachsthum des Pflanzenorgans ist somit nichts anderes als eine Kettenbewegung, in welcher das Leben eines jeden Elementes immer auf 2 andere übertragen wird, die ihm gleich oder ähnlich werden. Und das Leben oder die Innenbewegung des Organs ist nichts anderes als die Summe der Lebensbewegungen aller Elemente, welche in jedem Entwickelungsstadium dasselbe zusammensetzen.

Die Zellen, welche während der ganzen Lebensdauer eines Organs oder eines Gewebes auftreten, sind doppelter Art. Es sind erstlich diejenigen, welche sich theilen. Von ziemlich kurzer Dauer, haben sie vorzüglich die Aufgabe, die Bewegung, die ihnen von einer frühern Generation mitgetheilt wurde, auf eine spätere zu übertragen, und die Zahl der Zellen zu vermehren. Man nennt sie Mutterzellen oder Bildungszellen, und ein ganzes Gewebe, das aus ihnen besteht, Bildungsgewebe. Es sind zweitens die Zellen der letzten Generation, welche sich nicht weiter theilen, in welchen die Kettenbewegung der Fortpflanzung zur Ruhe gelangt ist, und welche meistens so lange bestehen, als das Organ noch lebt. Sie heissen Dauerzellen.

Die Zelle als ein individueller Organismus hat ein in der Zeit begrenztes

Dasein. Das Spiel ihrer Innenbewegung findet ein nothwendiges und bestimmtes Ende. Die Bildungszellen haben gewöhnlich eine sehr kurze Existenz, indem ihre Lebensbewegung bald in die der Tochterzellen übergeht. Die Dauerzellen erfreuen sich eines längern Daseins; aber die Summe ihrer innern Bewegungen nimmt nach und nach ab, und sie sterben an Altersschwäche, die meisten im ersten Jahr, manche nach mehreren Jahren, wenige erst nach einer längern Zeit.

Die Organe, deren Bildungszellen nach einer bestimmten Zeit alle in Dauerzellen übergehen, sterben nothwendig mit ihren Zellen ab, die Blätter in der Regel vor Jahresfrist. Es giebt andere Organe, in denen die Kettenbewegung der Zellenbildung immer nur in den einen Partieen aufhört, in den andern dagegen fortdauert. Solche Organe können äusserst lange leben; manche Bäume während Jahrtausenden. Sie bestehen aus abgestorbenem Gewebe, aus noch lebensthätigem Dauergewebe und aus zartem Bildungsgewebe. Die Bildungszellen eines Baumes befinden sich an den Spitzen seiner Aeste, Zweige und Wurzeln, und überall zwischen Rinde und Holz. Die lebendigen Dauerzellen folgen zunächst nach innen und nach aussen. Aus todten Zellen besteht das Mark, das Kernholz und die trockene äussere Rinde. — In dem Bildungsgewebe der Organe von langer Dauer vermehrt sich fortwährend durch Theilung die Zahl seiner Zellen. In gleichem Maasse geht aber ein Theil derselben in Dauerzellen über; es bilden sich jährlich neue Holz- und Rindenschichten, so dass die äussersten Lagen des Holzes und die innersten der Rinde die jüngsten sind. In gleichem Maasse sterben auch je die äussersten Schichten der lebenskräftigen Rinde und die innersten des lebenskräftigen Holzes ab.

Alle Organe sind in ihrem frühesten Stadium eine Zelle, sind also einander in gewissem Sinne gleich. Aber diese ursprünglichen Zellen haben ein ungleiches Entwickelungsvermögen; aus der einen wird ein Zweig, aus der andern eine Wurzel, aus dieser ein Laubblatt, aus jener ein Staubfaden, aus einer andern ein Haar. Diese Zelle entwickelt sich zu einem kugeligen, jene zu einem flächenartigen, jene zu einem fadenförmigen Organe*. Die eben genannten und alle andern Verschiedenheiten in der Gestalt, Grösse und im Bau hängen fast ausschliesslich von dem Verlaufe der Zellenbildung ab. Welche Zellen sind es, die sich theilen und in welcher Richtung findet die Theilung statt, das sind die

---

*) Man sagt so häufig von den Pflanzen oder den Organen, dass sie ursprünglich, als bestehend aus einer Zelle von gleicher Grösse, Form und Beschaffenheit, einander gleich seien, und dass die spezifischen Eigenthümlichkeiten erst nach und nach durch Differenzirung sich ausbildeten. Diess ist nicht richtig. Schon in der ursprünglichen rundlichen Zelle liegt vorgebildet der ganze daraus hervorgehende Organismus; in ihrer Lebensbewegung sind schon vollständig die spezifischen Merkmale desselben enthalten. Aber es ist begreiflich, dass eine Bewegung um so eher ihre eigenthümliche Natur erkennen lässt, je weiter man sie verfolgen kann. Die gerade Linie, der Kreis, die Ellipse, die Schraubenlinie, die Parabel, die Hyperbel u. a. sind auf den ersten Blick verschieden. Ganz kurze Abschnitte, oder was das Nämliche ist, die allerersten und kleinsten Anfänge derselben aber können nicht unterschieden werden, obgleich die spezifischen Eigenthümlichkeiten schon vollständig in ihnen vorhanden sind. Ganz so verhält es sich mit den einzelligen Anfängen und den entwickelten Organismen.

Angeln, um die sich wesentlich die anatomische und morphologische Beschaffenheit der Pflanzentheile dreht.

Ich bedaure, nicht auf einzelne spezielle Fälle eintreten zu können; es zeigt sich nirgends deutlicher die Richtigkeit und die Bedeutsamkeit meiner heutigen Betrachtungsweise. Das Wachsthum ist eine Kettenbewegung, bei welcher an die Stelle einer Zelle immer je zwei Zellen treten. Die Bewegung verläuft zuweilen auf dem nämlichen Platze, indem alle Zellen sich theilen; bald schreitet sie in einer bestimmten Richtung hin fort, indem nur je die eine der beiden Zellen sich wieder in gleicher Weise theilt. Bald ist Längen-, Breiten- und Dickenwachsthum scharf geschieden, bald sind sie mehr oder weniger verschmolzen. Besonders sind es die niedern Pflanzen, welche sich durch eine grosse Gesetzmässigkeit in der Zellenbildung auszeichnen. Schon ihr Bau, bestehend in Zahl und Anordnung der Zellen, zeigt viel Regelmässiges. Allein erst die Entwickelungsgeschichte giebt den richtigen und den charakteristischen Ausdruck für die spezifischen Eigenthümlichkeiten, und nur wenn die Zellenbildung als Bewegung aufgefasst wird, kann der Entwickelungsgeschichte die zutreffende und bündige Form gegeben werden. Es ist bereits für manche Organe niederer Pflanzen möglich geworden, das vollständige Wachsthum in eine oder einige wenige höchst einfache mathematische Formeln zu bringen. Jede dieser Formeln bezeichnet einen Zellentheilungsprocess, der durch Wände, die unter einem bestimmten Winkel zur Zellenachse geneigt sind, erfolgt, und der entweder stationär bleibt oder in einer bestimmten Richtung vorwärts geht*).

---

*) Ich habe im Jahr 1846 im zweiten Heft meiner Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik für das Wachsthum einer Floridee und einiger Organe von Laub- und Lebermoosen, ferner im Jahr 1847 in meinen Algensystemen für das Wachsthum verschiedener Süsswasser- und Meeralgen gezeigt, dass die Zellenbildung in höchst regelmässiger Weise erfolgt und dass es möglich ist, sie in mathematischer Form auszudrücken. Einige Beispiele mögen diess, namentlich dem nicht botanischen Leser deutlich machen.

Es giebt fadenförmige, gegliederte Organe oder ganze Pflanzen von microscopischer Grösse, die aus einer Reihe von gleichwerthigen Gliederzellen bestehen. Jede der letztern theilt sich in zwei, so lange das Wachsthum durch Zellenbildung fortdauert. Heisst die erste Zelle, aus welcher ein Organ entspringt, primäre Zelle, so müssen auch alle folgenden Zellen als primäre bezeichnet werden, da sie ihrer Natur nach mit jener übereinstimmen. Das Wachsthum besteht hier also darin, dass eine primäre Zelle der n^{ten} Generation sich in 2 primäre Zellen der $n+1^{\text{ten}}$ Generation theilt. Es beginnt mit ${}^{1}1 : {}^{2}1 + {}^{2}1$, und setzt sich fort durch ${}^{n}1 : {}^{n+1}1 + {}^{n+1}1$. Die Organe sind ungleich nach der Dauer der Zellenbildung, indem n eine verschiedene Höhe erreichen kann. Nimmt n z. B. bloss die Werthe 1, 2, 3 oder 4 an, so besteht das ausgewachsene Organ aus 2, 4, 8 oder 16 Gliedern. Zeigt n nach einander die Werthe 1 ..... ∞, so ist das Wachsthum unbegrenzt.

Manche andere Organe, die ebenfalls aus einer einfachen Zellenreihe bestehen, wachsen so, dass sich nur die Endzelle oder Scheitelzelle theilt. An die Stelle der ursprünglichen Zelle des ganzen Organs treten zwei neue ungleiche Zellen; die eine ist eine Dauerzelle, und stellt das erste Glied des Fadens dar, die andere eine Bildungszelle oder Scheitelzelle. Die letztere theilt sich in gleicher Weise in eine Gliederzelle und eine neue Scheitelzelle, und so geht die Theilung fort. Heisst die erste Zelle des Organs wieder primäre Zelle, so ist die eine ihrer Tochterzellen ebenfalls eine primäre, die andere aber, weil ihrer Natur nach verschieden, eine secundäre Zelle; und das Wachsthum geschieht in der Weise, dass die primäre Zelle des n^{ten} Grades

Das Wachsthum, von dem ich bis jetzt gesprochen habe, bezieht sich auf die Gestaltung der Dimensionen. Eine andere Seite des Wachsthums giebt dem

---

eine primäre Zelle des $n+1^{\text{ten}}$ Grades und eine n^{te} secundäre Zelle erzeugt. Es beginnt mit $\mathrm{I}^1 : \mathrm{I}^2 + {}_1\mathrm{II}$, und setzt sich fort durch $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$.

Es giebt Organe, die aus einer einfachen Schicht von Flächenzellen bestehen, und die in folgender Weise wachsen. Zuerst entsteht eine einfache Reihe von Zellen, wie vorhin nach der Formel $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$. Die secundären oder Gliederzellen sind Bildungszellen. Sie theilen sich zunächst in eine mittlere, welche eine Dauerzelle oder Flächenzelle ist, und in 2 seitliche, welche ihrer Lage nach Randzellen und ihrer Natur nach Bildungszellen sind. Jede dieser beiden zerfällt in eine innere oder Flächenzelle und in eine äussere oder Randzelle. Die nämliche Zellenbildung wiederholt sich in den Randzellen, und es entsteht somit eine einfache Zellschicht, an welcher der Rand aus Bildungszellen, die Fläche aus Dauerzellen besteht. Dieser Wachsthumsprocess beginnt also damit, dass jede Gliederzelle oder secundäre Zelle des ersten Grades zunächst vermittelst zweier Theilungen in 2 tertiäre Zellen des ersten Grades und in eine secundäre Zelle des letzten Grades zerfällt, und setzt sich dadurch fort, dass zunächst jede tertiäre Zelle des ersten Grades eine tertiäre Zelle des zweiten Grades und eine erste quartäre Zelle, und dass fernerhin eine tertiäre Zelle des m^{ten} Grades eine tertiäre Zelle des $m+1^{\text{ten}}$ Grades und eine m^{te} quartäre Zelle erzeugt, nach der Formel $\mathrm{III}^m : \mathrm{III}^{m+1} + m\mathrm{IV}$. Das ganze Organ besteht aus einer axilen Reihe von secundären Zellen, jederseits am Rande aus einer Reihe von tertiären (Bildungs-) Zellen und dazwischen aus quartären Zellen.

Andere einschichtige Organe entstehen aus einer einfachen Zellenreihe (deren Wachsthum ebenfalls durch $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$ ausgedrückt wird) dadurch, dass die secundären Zellen sich zuerst durch eine mit der Achsenlinie zusammenfallende Wand halbiren und in 2 tertiäre Zellen zerfallen, dass jede der beiden letztern sich wieder in gleicher Richtung theilt, und dass dieses Zerfallen in 2 gleichwerthige Zellen noch eine Zeit lang in allen Elementen sich wiederholt. Das Breitenwachsthum geschieht nach der Formel ${}^{m}\mathrm{III} : {}^{m+1}\mathrm{III} + {}^{m+1}\mathrm{III}$, d. h. eine tertiäre Zelle der m^{ten} Generation bildet 2 tertiäre Zellen der $m+1^{\text{ten}}$ Generation.

Von den 4 genannten Organen stimmen die beiden erstern im Bau unter einander überein, ebenso die beiden letztern. Ihr Wachsthum wird durch folgende Formeln bezeichnet

1. ${}^{n}\mathrm{I} : {}^{n+1}\mathrm{I} + {}^{n+1}\mathrm{I}$
2. $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$
3. $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$
   $\mathrm{III}^m : \mathrm{III}^{m+1} + m\mathrm{IV}$
4. $\mathrm{I}^n : \mathrm{I}^{n+1} + n\mathrm{II}$
   ${}^{m}\mathrm{III} : {}^{m+1}\mathrm{III} + {}^{m+1}\mathrm{III}$.

Bei dieser Terminologie, deren ich mich früher bediente, bin ich von dem Prinzip ausgegangen, die erste Zelle eines Organs und ebenso alle Zellen, welche mit ihr gleiches Theilungsvermögen besitzen, als primäre Zellen zu bezeichnen, die erste Differenz als secundäre, die folgende als tertiäre Zellen zu unterscheiden etc. Für den fragmentarischen Anfang einer neuen Lehre mochte dieses Verfahren zweckmässig sein. Bei weiterer Ausdehnung der Untersuchungen und bei einer vergleichenden Behandlung der Organe der Cryptogamen machte sich das Bedürfniss geltend, die Zellen nach der morphologischen Function, die sie beim Aufbau des Organs ausüben, zu benennen, als Gliederzellen (A), Scheitelzellen (V), Randzellen (M), Flächenzellen (P) u. s. w. Die Formeln wären somit für die genannten Fälle in folgender Weise abzuändern.

1. ${}^{n}A : {}^{n+1}A + {}^{n+1}A$.
2. $V^n : V^{n+1} + nA$.
3. $V^n : V^{n+1} + nA$.
   $M^m : M^{m+1} + mP$.
4. $V^n : V^{n+1} + nA$.
   ${}^{m}P : {}^{m+1}P + {}^{m+1}P$.

Diess sind einige Beispiele von sehr einfachen Organen; bedeutende Verschiedenheiten

Organ seine Richtung und verändert diese Richtung, giebt also Veranlassung zu Bewegungen der Organe. Krümmung und Streckung, Zusammenfaltung oder Einrollung und Ausbreitung, Drehung und Aufdrehung gehören hieher. Das Blatt der Farren und Cycadeen ist in der Jugend schneckenförmig eingerollt; es streckt sich später zur geraden Richtung. Sehr viele Blätter sind im jungen Zustande (innerhalb der Knospe) zusammengefaltet und zusammengerollt, sie breiten sich nachher flach aus. Die Ranken von kürbissartigen und andern Gewächsen, wodurch sie sich an fremde Gegenstände anklammern, sind zuerst gerade; sie krümmen sich dann und rollen sich schneckenförmig ein; nachher strecken sie sich und werden zuletzt schraubenförmig. Die Stengel sind zuerst ungedreht, nachher meistens gedreht; bei unsern Bäumen tritt diese Drehung erst im Alter ein.

Die eben genannten Gestaltsveränderungen geschehen immer so langsam, dass sie nicht direkt gesehen werden können. Sie erfolgen durch ungleiches Wachsthum, indem die Vermehrung oder die Ausdehnung der Zellen an gewissen Stellen stärker oder schwächer ist, als an andern. Ein Organ, das auf einer Seite stärker in die Länge wächst als auf der andern, krümmt sich; ein gekrümmtes wird auf gleiche Weise wieder gerade. Ein flächenförmiges Organ, welches in der mit dem Rande parallelen Richtung stärker in die Fläche wächst als in der zum Rande rechtwinkligen, legt sich längs des Randes in Falten, wie das der Krauskohl thut. Wenn es stellenweise im Innern stärker in die Fläche wächst als in den übrigen Theilen, so wirft es Blasen, die auf der einen Seite als Vertiefungen, auf der andern als Erhabenheiten erscheinen. Diejenigen meiner Zuhörerinnen, welche sich selber etwas für das Anfertigen der Kleider interessiren, wissen recht wohl, wie eine Falte, eine Krümmung, eine glatte Fläche gemacht wird. Die Natur bedient sich der nämlichen mechanischen Regeln wie der Kleiderkünstler; aber sie macht ihre Arbeit gewöhnlich noch etwas besser; statt einzelner grosser, setzt sie zahllose kleine Läppchen ein.

Ein cylindrisches Organ, das am Umfange stärker in die Länge wächst als in der Mittellinie, dreht sich um seine Achse. Ein bandförmiger Theil wird unter gleichen Umständen zur Wendeltreppe. Ein Stengel oder eine Ranke, die auf der einen Seite in bestimmten Verhältnissen stärker sich verlängert als auf der andern, wird schraubenzieherförmig oder »windet« sich. Es kommt aber dabei wohl immer noch eine Drehungsursache in den einzelnen Zellen hinzu.

Drehende und windende Organe können sich nach zwei Seiten kehren, rechts oder links. Es giebt Rechts- und Linksdrehung, Rechts- und Linkswindung. Ich muss, ehe ich einige Beispiele anführe, zuerst eine Bemerkung über

---

in Länge und Breite werden dadurch hervorgebracht, dass *m* und *n* sehr ungleiche Werthe annehmen können, wie das für das erste Beispiel angegeben wurde. Der gleiche oder ein ähnlicher Bau (einfache Zellenreihe und einfache Zellschicht) kann noch durch andere Combinationen der Zellenbildung hervorgebracht werden. Organe von complizirterer Zusammensetzung wachsen durch andere und zahlreicher combinirte Zellenbildungsprocesse. Ich hoffe nächstens eine Uebersicht meiner bis jetzt auf diesem Gebiete gewonnenen Thatsachen geben zu können.

die Bedeutung dieser Begriffe machen. Die Mechanik nennt die gewöhnlichen Schrauben rechte, in seltenen Fällen werden auch linke angewendet. Rechte Schrauben sind solche, deren Windungen, von aussen angesehen, von der Linken zur Rechten aufsteigen; bei den linken findet das Umgekehrte statt. Die gleiche Benennung gebraucht die Technik für alle schraubenförmigen Vorrichtungen, auch für die Wendeltreppen, die gewundenen Säulen, die Drähte, Stricke u. s. w. Die Zoologie hat dieselbe Terminologie für die Schneckengehäuse; und die Botanik hatte sie seit Linné's bis auf die neuere Zeit. Nach dem Vorgange De Candolle's bedient man sich jetzt allgemein der umgekehrten Bezeichnungsweise. Man sagt, es sei die Pflanze, welche sich drehe, desswegen müsse man sich an ihre Stelle setzen. Allein es scheint mir einleuchtend, dass an einem cylindrischen Stengel und an so manchem andern Pflanzenorgan ein Rechts und Links nicht existirt, dass somit die Bezeichnung rein conventionell ist, und bloss für den Beobachter, der mit Rechts und Links begabt ist, Bedeutung hat. Es wäre aber gewiss zweckmässiger, wenn man in der Botanik die vom Leben und von andern Wissenschaften sanktionirten Begriffe beibehalten wollte; es wäre bequemer, wenn man den Baum von aussen betrachten würde, statt, wie es jetzt üblich ist, sich in denselben hineinzudenken und seine Oberfläche von innen aus anzusehen, und eben so comfortabel, wenn man die Ranke um sich selber, statt wie man jetzt pflegt, um den Beobachter sich winden liesse.

Um noch einige Beispiele anzuführen, so bemerke ich, dass unsere meisten Bäume sich rechts drehen. Der Hopfen windet links, die Bohne und Zaunwinde rechts. Die Ranken setzen gewöhnlich um; d. h. sie winden zuerst in irgend einer Richtung, und dann in der entgegengesetzten. — Die Schraubenlinie kommt im Pflanzenreiche überhaupt sehr häufig vor, in der Zelle, im Organ und am ganzen Pflanzenstock. Die Spiralgefässe sind meistens links gewunden; der Bau der Bastzellen deutet auf eine rechtswendige Bewegung. Das grüne Schraubenband bei Spirogyra ist immer linksgewunden. Die Drehung der Schwärmzellen erfolgt bei den einen rechts, bei den andern links, die der Oscillarien rechts. — Rechts und Links finden im Pflanzenreiche ungefähr gleich zahlreiche Anhänger; ich habe in der eben gegebenen Aufzählung die rechte und linke Seite des Hauses mit einander vertauscht, und rechts gesetzt, was eben noch links sass, wie das ein Wechsel des Systems nothwendig mit sich bringt.

Die Lebensbewegung des Organs ist zusammengesetzt aus den Lebensbewegungen aller seiner Zellen. Seine sämmtlichen Funktionen beruhen auf Funktionen der Zellen. Diess wird namentlich auch anschaulich bei der Circulation der Nahrungsflüssigkeiten. Jede Zelle ist ein überall geschlossenes Bläschen, und diese Bläschen liegen an der Oberfläche der Organe so dichtgedrängt beisammen, ähnlich gut in einander gefügten Mauersteinen, dass nicht die kleinsten Oeffnungen zwischen ihnen übrig bleiben. Diese äussersten, zusammenschliessenden Zellen bilden die Epidermis. Das Thier hat auch eine Oberhaut; aber bestimmte

Oeffnungen wie die des Mundes, der Nase führen ins Innere. Es nimmt feste Nahrung zu sich. Bei der Pflanze muss Alles, was sie von aussen aufnimmt, durch die Oberhautzellen und ihre durchdringbaren Membranen hindurchgehen. Die Pflanze filtrirt, was sie einsaugt und was sie ausscheidet. Der Chemiker und die Hausfrau filtriren durch Papier. Die Pflanzenzelle macht es viel genauer; ihr Filtrum ist tadellos. Auch die allerwinzigsten Stäubchen, die unter den stärksten Vergrösserungen kaum sichtbar sind, vermögen nicht durch die Membran durchzudringen. Nur Stoffe, die wirklich gelöst sind, vermögen es; denn sie müssen, da grössere Lücken mangeln, durch die Zwischenräume, welche die Molecüle selbst lassen, sich durchzwängen. — Das Thier isst und trinkt. Die Pflanze trinkt bloss Wasser; sie trinkt für den Durst und für den Hunger. Das Zuckerwasser oder die Limonade, mit der wir uns erfrischen, kommt uns als ein sehr dünnes Getränk vor. Für die Pflanze wäre es ein Excess, der eine unheilbare Indigestion und den sichern Tod in kurzer Zeit herbeiführen würde. Sie übt Grundsätze der allerstrengsten Mässigkeit, und begnügt sich mit Regen-, Fluss- und Quellwasser.

Die Flüssigkeit, welche die Pflanze aufnimmt, dringt in die Zellen ein, welche an der Oberfläche sich befinden, und geht dann weiter von Zelle zu Zelle. Das von der Wurzel aufgenommene Wasser muss in einem 80 Fuss hohen Baum wohl durch 30,000 Zellen hindurchgehen, ehe es am Gipfel anlangt; es wird durch eben so viele Wände, die zwischen den Zellen liegen, filtrirt. Wie mühsam operirt nicht die Pflanze, während das Thier mit grosser Leichtigkeit die Flüssigkeit durch besondere Kanäle leitet. Die Wege in der Pflanze gleichen einem undurchdringlichen, mit Lianen durchflochtenen Urwald, wo der Wanderer mit jedem Schritt sich beschwerlich durchwindet; im Thier dagegen sind es breite und ebene Kunststrassen, die durch den Wald führen. Das Thier hat den weitern Vortheil, dass es in seinen Kanälen mit der Flüssigkeit auch feste und unlösliche, geformte und ungeformte Bestandtheile fortleiten kann, und dass bei ihm viele Processe in grössern, von Zellen und Fasern umschlossenen Räumen stattfinden. Die Pflanze vollbringt Alles in und durch die Zelle. Eine feste Substanz, die anderswohin transportirt werden soll, muss daher zuerst gelöst werden; im flüssigen Zustande verlässt sie dann die Zelle, und geht von Zelle zu Zelle bis an den Ort ihrer Bestimmung. Das Blatt enthält Stärkekörner; dieselben sollen, ehe es im Herbst abfällt, in den Stamm gebracht werden. Sie lösen sich auf, d. h. zerfallen in die einzelnen Atome, welche mit dem Wasser durch die Zellmembranen filtrirt werden, und, in den Zellen ihrer Bestimmung angelangt, sich wieder zu Körnern formen. Ein Regiment steht in geschlossenen Colonnen vor einem Walde ohne Heerstrasse, den es zu passiren hat. Es löst sich auf; jeder Einzelne sucht sich den Weg, so gut er ihn zwischen den Bäumen und dem dornigen Gestrüppe findet; auf dem jenseitigen Plane formiren sich die Reihen wieder.

Ich habe vorhin gezeigt, wie das ungleiche Wachsthum, bestehend in Zellenbildung und Zellenwachsthum, Veränderungen in der Gestalt und in der Richtung der Organe bewirkt. Das Nämliche geschieht durch Aufnahme und Abgabe von Flüssigkeit. Wenn die Zellen auf der einen Seite des Organs sich mit Wasser stärker füllen, also sich ausdehnen, oder wenn die Zellen der andern Seite Flüssigkeit abgeben, also sich zusammenziehen, so wird sich das Organ biegen, wie ein dünnes Brett sich biegt, wenn man es im trockenen Zustande nur auf der einen Fläche befeuchtet, oder wenn man es im feuchten Zustande nur auf der einen Fläche der Verdunstung aussetzt und austrocknen lässt. Die Wachsthumsbewegungen erfolgen langsam; sie werden durch Einlagerungen zugleich von festen und flüssigen Theilen bewirkt. Die Aufnahme und Abgabe von blosser Flüssigkeit bewirkt einen viel rascheren Effekt; besonders dann, wenn die schon in einem Gewebe vorhandene Flüssigkeit sich bloss anders vertheilt, wenn dieselbe von der einen nach der gegenüber liegenden Seite hinströmt, wenn also gleichzeitig dort Zusammenziehung, hier Ausdehnung wirksam sind. Durch diese Bewegungen der Flüssigkeiten entstehen periodische Bewegungen der Organe, welche vorzüglich mit dem Wechsel von Tag und Nacht zusammenfallen.

Die grünen Blätter vieler Pflanzen, die am Tage mehr oder weniger ausgebreitet sind, nehmen während der Nacht eine andere Richtung an. Die einfachen Blätter und die Blättchen der zusammengesetzten Blätter erheben sich Nachts, und legen sich nach oben an den Stengel und gegen einander an; oder, was indess seltener der Fall ist, sie senken sich und legen sich nach unten an. Die 3 Blättchen des Klees sind während der Nacht aufgerichtet und gegen einander gelehnt; die Blättchen des Sauerklees und der Lupine sind niedergeschlagen und an den Blattstiel angelegt. An den gefiederten Blättern der Wicken steigen die Blättchen empor wie beim Klee; an den gefiederten Blättern der Robinien (falschen Akazien) senken sie sich wie beim Sauerklee. Bei der Sinnpflanze neigt sich das ganze Blatt; die Blättchen aber erheben sich und schliessen an einander. Diese Bewegungen erfolgen mit dem Eintritt der Nacht; die Pflanzen begeben sich zur Ruhe wie das Thier; der Schlaf ist ein Genuss, der ihnen nicht versagt ist.

Nicht alle Pflanzenblätter begeben sich Nachts in den Ruhezustand; sie sind um so schlafsüchtiger, je jünger und weicher sie sind. Sehr zarte und empfindliche Blätter nehmen auch während einer Sonnenfinsterniss die nächtlichen Stellungen ein, und schicken sich dazu an, wenn eine dunkle Wolke vor das leuchtende Gestirn des Tages tritt. Wenn man die Pflanzen in einen ganz finstern, nur Nachts von Lampen hell erleuchteten Raum bringt, so kehren sie wie die grosse Welt ihre Lebensweise um und schlafen den Tag über. — Wachen und Schlafen sind bei der Pflanze nicht streng geschieden. Am Tage entfernen sie sich bald mehr bald weniger von den nächtlichen Stellungen. Es giebt zarte Blätter, welche fortwährend in langsamer Bewegung begriffen sind. Die heissen und trockenen Stunden des Mittags bringen an ihnen zuweilen einen eigenthümlichen Zustand hervor, indem sie sie zur Siesta einladen.

Die besonders empfindsamen Pflanzen verändern die Richtungen ihrer Blätter nicht nur bei wechselnder Einwirkung des Lichtes, sondern auch wenn man sie reizt. Man nennt sie Sinnpflanzen. Der Reiz bewirkt immer, dass sie die nächtlichen Stellungen annehmen. Berührung, Erschütterung, Stich, Schnitt, Brennen, chemische Reize, Kälte, elektrische Schläge wirken gleich. Wenn der Reiz schwach ist, so bleibt seine Aktion auf eine kleine Stelle beschränkt; ist er stärker, so pflanzt er sich von Blättchen zu Blättchen, von Blatt zu Blatt und von Zweig zu Zweig fort. Durch grosse Empfindlichkeit zeichnet sich besonders Mimosa pudica aus. In ihrem Vaterlande genügt ein starkes Auftreten auf den Boden, um das Laubwerk einer Pflanze in den Zustand des Schlafes zu versetzen; und der Hufschlag eines vorbeisprengenden Pferdes setzt ganze Massen von Mimosen in Bewegung. — Die Blätter verharren einige Zeit in der durch den Reiz hervorgebrachten nächtlichen Stellung; dann breiten sie sich wieder aus. Wie der thierische Organismus kann auch der pflanzliche sich an den Reiz gewöhnen. Desfontaines nahm eine Mimosa zu sich in den Wagen und führte sie auf dem Strassenpflaster spaziren. Sobald der Wagen sich in Bewegung setzte, so legte sie ihre Blätter zusammen. Nach einiger Zeit kehrte sie in den Zustand des Wachens zurück und verblieb darin, obgleich der Wagen immer fortrollte. Hielt er aber an und setzte sich dann wieder in Bewegung, so bewirkte die neu beginnende Erschütterung wieder ein Schliessen der Blätter.

Berühmt ist die Bewegung der Fliegenfalle (Dionaea muscipula), einer kleinen Pflanze aus den Sümpfen Nordcarolinas. Der breite Blattstiel trägt eine vorn tief eingeschnittene und dadurch in 2 ovale Hälften geschiedene Blattfläche, welche bis 3 Zoll lang und 1 ⅓ Zoll breit und am Rande mit steifen Wimperzähnen besetzt ist. Nachts faltet sich das Blatt nach der obern Seite zusammen, wobei die Wimpern des einen und des andern Randes wie die Finger der gefalteten Hände in einander greifen. Die nämliche Bewegung wird durch einen schwachen Reiz auf die Mitte der obern Fläche hervorgebracht; und das Blatt ist im Vaterlande der Pflanze so empfindlich, dass schon ein über dasselbe weglaufendes Insekt von der Grösse einer Fliege ein schnelles Schliessen verursacht, wobei die Fliege gefangen wird. Es gab ältere und selbst neuere Botaniker, welche meinten, die Dionaea fange sich die Fliegen zur Nahrung, und locke sie durch einen süssen Saft an.

An die täglichen Bewegungen, welche die Blätter beim Schlafengehen und beim Wiedererwachen zeigen, schliessen sich unmittelbar die Bewegungen der Blüthen und ihrer Theile an. Manche Blumen sind am Tage aufgerichtet, der Sonne und dem blauen Himmel zugekehrt; Nachts biegen sie sich abwärts und blicken nach der Erde. Heben und Senken der Blumen- und Kelchblätter bewirkt das Schliessen und das Oeffnen der Blüthen. Einige Blumenblätter rollen sich dabei ein und wieder ab; einige falten sich selbst kraus zusammen, als ob sie verwelkt wären, und breiten sich dann wieder aus. Wie die einen Laubblätter beim Eintritt der Nacht sich heben, andere sich senken, so werden auch die Blüthen in verschiedener Weise von dem Lichte angeregt. Die meisten öffnen sich am Tage, einige des Nachts. Die Cistrosen verblühen schon am ersten Tage. Cereus (Cactus) grandiflorus erfreut uns nur während einiger Nachtstunden mit seinen grossen und wohlriechenden Blumen. Gewöhnlich öffnen und schliessen sich die Blüthen mehrere Tage oder Nächte hinter einander. Und zwar treffen die Bewegungen nicht mit dem Wechsel von Licht und Dunkelheit zusammen; sondern jede Pflanze öffnet und schliesst ihre Blüthen zu einer bestimmten Stunde des Tages oder der Nacht. Zwischen 3 und 4 Uhr Morgens blühen die Zaunwinden (Convolvulus sepium) auf, um 5 Uhr die Schwarzwurzeln (Scorzonera), um 7 Uhr Seerosen (Nuphar) und Salat (Lactuca), um 8 Uhr die Glockenblumen (Campanula), um 9 Uhr die Ringelblumen (Calendula), um 11 Uhr der Portulak und Ornithogalum umbellatum mit seinen schönen weissen Sternblüthen, welche Pflanze wegen ihres späten Aufstehens dame d'onze heures genannt wurde, um 2 Uhr die Nachmittags-Scilla, zwischen 6 und 7 Uhr Abends die Wunderblume oder falsche Jalappe (Mirabilis Jalappa), um 8 Uhr die Königin der Nacht (Cereus grandiflorus), um 10 Uhr Nachts die Purpurwinde (Ipomoea purpurea), von den Gärtnern Tagschöne (belle de jour) genannt, weil sie, so früh sie auch aufstehen, die Blumen immer schon offen fanden. — Linné stellte die Pflanzen nach ihrem Aufblühen in ein Register zusammen und nannte es die Uhr der Flora (Blumenuhr); ich will indess nicht behaupten, dass dieser Chronometer sehr genau gehe.

Wie das Heben und Senken der grünen Blätter, so wird das Oeffnen und Schliessen der Blüthen von der Einwirkung des Lichtes bedingt. Sonnenfinsterniss und bewölkter Himmel veranlassen manche empfindlichen Blumen, sich zu schliessen. In einem am Tage dunkeln und zur Nachtzeit hell erleuchteten Raum ändern sie ihre Gewohnheiten. Die Nachtblumen gehen am Morgen auf, wenn man die Lampen löscht, die Tagblumen am Abend, wenn man sie wieder anzündet. — Da ein bewölkter Himmel oft Regen anzeigt, so geht das Schliessen mancher Blüthen dem Regen voraus. Aber mit Unrecht hat man solche Pflanzen, besonders die Regenringelblume (Calendula pluvialis) zu Wetterpropheten gemacht. Sie zeigen nur an, was schon da ist, nicht das, was erst noch kommen wird.

Es giebt einige wenige Organe, welche sich fortwährend bewegen, ohne dass das Licht den geringsten Einfluss hat. Am ausgezeichnetsten zeigt sich die Erscheinung bei Desmodium (Hedysarum) gyrans, einer in Bengalen wachsenden Pflanze aus der Verwandtschaft der Erbsen und Bohnen. Ihre Blätter haben, wie der Klee, 3 Blättchen, aber von ungleicher Grösse. Das ovale Endblättchen ist 3—4 Zoll lang, die schmalen seitlichen Blättchen 7—8 Linien. Diese beiden kleinen Blättchen sind Tag und Nacht in ununterbrochener Wanderung begriffen. Das eine derselben hebt sich, und legt sich mit seiner innern Fläche an den Blattstiel an. Das andere, welches diese nämliche aufrechte Stellung zeigte, fängt nun an sich zu senken und legt sich mit seiner äussern Fläche abwärts an den Blattstiel. Hierauf setzt sich wieder das erste in Bewegung; es steigt herunter und lehnt sich ebenfalls an. Wenn diess geschehen ist, so beginnt das zweite Blättchen von Neuem seine Wanderung nach oben. Die Bewegungen gehen nicht stetig, sondern ruckweise von Statten. Der ganze Weg von unten nach oben oder umgekehrt kann in weniger als 1 Minute zurückgelegt werden. Nicht immer wechseln Hebung und Senkung so regelmässig ab. Zuweilen bewegen sich auch beide Blättchen gleichzeitig, sei es gegen einander, sei es in gleicher Richtung mit einander. Das grosse Endblättchen und der gemeinsame Blattstiel zeigen nur die täglichen Bewegungen, Nachts senken sie sich und legen sich an den Stengel an, den sie mantelartig bedecken. Wenn indess die grossen Blättchen schlafen gegangen sind, so bewegen sich die kleinen Balancirblättchen unermüdlich fort; dieselben sollen nach Hufeland sogar mit einem merklichen Geräusche unter den sie bedeckenden grossen Blättchen hervorschnellen.

Die Blüthen enthalten innerhalb der Blumenkrone zwei verschiedene Organe. Zunächst kommen die Staubfäden mit den Staubbeuteln, in denen der Blüthenstaub gebildet wird. In der Mitte der Blume befinden sich die Stempel; deren unterer Theil heisst Fruchtknoten und enthält die Anlagen für die Samen; auf dem Fruchtknoten stehen die Griffel, deren Endtheil als Narbe bezeichnet wird. Damit die Samenanlagen zu fruchtbaren Samen und die Fruchtknoten zur Frucht sich entwickeln, muss der Blüthenstaub auf die Narbe gelangen. Die Natur bedient sich verschiedener Mittel, um diess zu bewerkstelligen. Der Wind und die Blüthen besuchenden Insekten spielen keine unbedeutende Rolle, da wo Staubgefässe und Stempel nicht in der gleichen Blüthe oder nicht einmal auf der nämlichen Pflanze vereinigt sind. Wenn diese Organe sich beisammen befinden, nähern sie sich oft einander, indem sie besondere Bewegungen ausführen. Die Staubgefässe biegen sich nach innen, legen sich an die Narben an, ihren Blüthenstaub entleerend, und kehren dann in die frühere Richtung zurück. Gewöhnlich beginnt eines nach dem andern in bestimmter Reihenfolge die Wanderung. Parnassia, die Raute, die Berberitze, die Lilie, der Lauch, die Linde, der Spinat, die Brennnessel und viele andere Gewächse zeigen diese Bewegungen der Staubfäden. Bei Passionsblumen, Hibiscus, Cactus-Arten und vielen andern krümmen sich die Griffel nach aussen zu den Staubbeuteln, und gehen dann wieder zurück. Endlich giebt es auch Gewächse, wie z. B. die Malven, bei welchen die Staubfäden und die Griffel sich beide gegen einander und nachher wieder von einander bewegen. Zu der Zeit, wo diese Bewegungen einzutreten pflegen, sind diese Organe oft auch irritabel, so dass die Wanderung schon vor der Zeit auf einen chemischen oder mechanischen Reiz erfolgt.

Da ich von den Bewegungen der Blüthentheile spreche, will ich die berühmt gewordene Vallisneria spiralis nicht unerwähnt lassen. Sie wächst im südlichen Europa auf dem Grunde stehender Gewässer; sie ist häufig in den Gewächshäusern und eignet sich für Zimmeraquarien. Die Blüthen der einen Pflanzen enthalten bloss Stempel, die der andern bloss Staubgefässe. Beide bilden sich auf dem Grunde des Wassers; sie sollen aber in der Luft sich öffnen. Die Knospen der Stempelblüthen werden auf einem langen Stiel an die Oberfläche des Wassers gehoben, um sich daselbst zu entfalten. Die Staubblüthen stehen auf einem kurzen artikulirten Stiel, welcher sich ablöst; die Blüthenknospen steigen, getragen durch die eingeschlossene Luft, ebenfalls an die Oberfläche des Wassers, wo sie sich öffnen und zu Tausenden frei herumschwimmen. Nachdem der Blüthenstaub auf die Narbe gefallen ist, wickelt sich der Stiel der Stempelblüthen spiralig auf und zieht so die Blüthe auf den Grund des Wassers, wo Samen und Frucht reifen, indess die Staubblüthen in Verwesung übergehen.

Alle die erwähnten Bewegungen von Blättern und Blatttheilen, welche mit dem Wechsel von Tag und Nacht, auf Reize oder während der Blüthezeit eintreten, geschehen durch ungleiche Anhäufung der Flüssigkeit in den verschiedenen Partieen des Gewebes. Zuweilen vertheilt sich die Bewegung auf die ganze Länge; der ganze Staubfaden krümmt sich. Häufiger hat sie ihren Sitz bloss in dem Gelenke, mit welchem das bewegliche Organ eingefügt ist. Das Blatt selbst oder das Blättchen verändert seine Gestalt nicht; es dreht sich bloss um das Basilargelenk, welches aus einem elastischen Gewebe meist in Form eines Wulstes besteht. Die Turgescenz des Gewebes ist so stark, dass ohne Zerreissung desselben die schlafenden Blätter kaum aus ihrer Lage gebracht werden können. Um zu zeigen, mit welcher Energie die Pflanzen sich in ihren nächtlichen Ruhezustand begeben, hat man solchen Blättern, die sich Nachts aufrichten, kleine Gewichte angehängt. Sie hoben dieselben in die Höhe und überliessen sich, so belastet, der Ruhe.

Eine andere Kategorie von Bewegungen, welche wir als hygroscopische bezeichnen können, wirkt auf die nämliche mechanische Weise. Pflanzentheile, welche austrocknen, oder wenn sie trocken waren, wieder feucht werden, verändern ihre Richtung; sie drehen, krümmen, werfen sich, weil die einen Partieen des Gewebes mehr Wasser verlieren oder mehr aufnehmen als die andern. Die meisten dieser Bewegungen gehören nicht mehr der lebenden Pflanze an, sondern der todten Substanz; zarte Ranken und Grannen werden als Hygrometer benutzt; die Rose von Jericho (die ganze Pflanze von Anastatica hierochuntica) ist im trockenen Zustande geschlossen, und öffnet sich beim Befeuchten. Diese hygroscopischen Bewegungen kommen zuweilen auch an lebenden Pflanzentheilen vor, welche austrocknen ohne abzusterben; und in vielen Fällen haben sie eine grosse Bedeutung für das Leben; denn sie sind es, welche die austrocknenden Fruchtkapseln, Staubbeutel, Sporenbehälter öffnen. Dadurch wird den Samen, den Pollenkörnern, den Sporen (einzelligen Samen der Cryptogamen) der Austritt gestattet, oder sie werden auch mit Gewalt fortgeschleudert.

Das Leben des Organs ist die Summe der Lebensbewegungen aller seiner Zellen. Sein Wachsthum beruht auf der Kettenbewegung der auf einander folgenden Generationen von Bildungszellen; seine übrigen Functionen auf den Innenbewegungen aller einzelnen, besonders der Dauerzellen. Wenn die Bewegungen in allen oder in vielen Zellen zusammenwirken, so kann der Gesammteffekt Ortsbewegungen der Organe hervorbringen.

Das Organ selbst kann wieder Element einer Kettenbewegung werden, wie es die Zelle war, der es seinen Ursprung und sein Bestehen verdankt. Es erzeugt neue Organe, in welche es eine ihm analoge Lebensbewegung überträgt; das Resultat dieses Processes ist der Aufbau der ganzen Pflanze. Wie das Organ als einfache Zelle beginnt und durch Zellenbildung wächst, so beginnt der Pflanzenstock anfänglich immer als ein einfaches Organ und entwickelt sich durch Erzeugung neuer Organe. Die höhern Pflanzen fangen mit dem Stengel an. Wenn derselbe noch winzig klein, dem blossen Auge kaum sichtbar und in dem unreifen Samen eingeschlossen ist, so bildet er schon die ersten seitlichen Organe, die Samenlappen und andere blattartige Theile. Sowie der Stengel grösser wird, so erzeugt er fortwährend neue Blätter; er bringt Aeste und Zweige hervor, die ihrerseits wieder Blätter tragen; nach unten treibt er Wurzeln, die sich ebenfalls verzweigen können. Aus der Oberfläche der Stammtheile, der Blätter und der Wurzeln wachsen oft haarförmige Bildungen hervor.

Beim Aufbau des Organs theilt sich je eine Zelle in zwei, und trägt, indem sie selber zu existiren aufhört, ihre ganze Innenbewegung auf dieselben über. Das entwickelte ausgewachsene Gewebe besteht bloss aus den Zellen der letzten Generation. Anders verhält es sich mit dem Aufbau des Pflanzenstockes. Das Organ erzeugt die neuen Organe ausser oder neben sich, und besteht gleichzeitig mit denselben fort; es trägt dieselben, so der Stengel die Zweige, der Zweig die Blätter; es kann wiederholt, selbst fast in unbegrenzter Folge neue seitliche Theile hervorbringen. Der Pflanzenstock ist zuweilen aus allen Organen zusammengesetzt, welche während seiner ganzen Entwickelung auf einander gefolgt sind. Meistens fehlen demselben gewisse Organe, welche, wie die Blätter, regelmässig abgeworfen werden.

Die Pflanzenstöcke treten uns in bunter Mannigfaltigkeit entgegen. Vergleichen Sie in Gedanken einen Wasserfaden, einen Schimmelpilz, einen Hutschwamm, eine Flechte, ein Moos, eine Wasserlinse, einen Tannenbaum, ein Gras, eine Lilie, eine tropische Orchidee, eine Palme, einen Cactus, eine Weinrebe, einen Apfelbaum. Es giebt zwei Quellen für diese Mannigfaltigkeit. Die eine liegt in der ungleichen Gestalt der Organe; die andere in der Zusammenfügung derselben. Am Cactus ist der Stengel übermässig ausgebildet und die Blätter sind verkümmert; die Schlingpflanze trägt an ihrem langen und fadenförmig-dünnen Stengel mittelgrosse Blätter; aus dem kurzen, in der Erde verborgenen Stamm mancher Farrenkräuter erheben sich Blätter von übermässiger Grösse. Die Verschiedenheiten, welche in der Aufeinanderfolge und der gegenseitigen Anordnung der Organe begründet sind, springen weniger in die Augen. Ein Kartoffelknollen hat die gleiche Architektonik wie das Kartoffelkraut, von dem er so verschieden scheint, und eine andere als der Rettig, dem er äusserlich mehr gleicht. — Die Architektonik des Pflanzenstockes oder der Aufbau desselben aus den Organen ist für das Wesen der Pflanze viel wichtiger als die Formbildung der Organe. Nah verwandte Pflanzen stimmen in der erstern immer überein; in der letztern können sie ganz verschieden sein. Es bestätigt diess die Richtigkeit meiner Betrachtungsweise, die ganze Pflanze als eine Bewegung aufzufassen, deren Element das Organ ist. Denn die Pflanze muss ihren Charakter in erster Linie durch die sie unmittelbar erzeugende Bewegung erhalten, also durch die Aufeinanderfolge der Organe, und erst in zweiter Linie durch die den Theil aufbauende Bewegung, die Zellenbildung.

Um Ihnen eine Idee zu geben, wie die Pflanze durch die Kettenbewegung der Organbildung construirt wird, müsste ich zuerst versuchen, die Verschiedenheit der Organe selbst zu begründen, und weiterhin zeigen, nach welchen Gesetzen die Erzeugung der verschiedenen Organe stattfindet. Ich kann bloss einige leitende Gedanken berühren. Rücksichtlich der Begriffsbestimmung der Organe bietet uns die gegenwärtige Wissenschaft noch ein Chaos dar, in welchem es unmöglich ist, sich zurechtzufinden. Man hat sich damit begnügt, in jeder Gruppe des Pflanzenreiches und selbst in jeder Abtheilung einer Gruppe nach äussern Eigenthümlichkeiten die Organe mit besondern Namen zu belegen. Man spricht von den Fäden der Schimmelpilze, von dem Strunk und Hut der Schwämme, von dem Lager der Flechten, von dem Laub der Lebermoose, von der Borste, welche die Mooskapsel trägt, von den Wedeln der Farrenkräuter, von dem Halm der Gräser u. dergl. Ein vergleichendes morphologisches Studium muss vor Allem aus die Identität und die Differenz der Pflanzenorgane feststellen. Ich glaube nun, dass folgende Betrachtung einiges Licht über diese Verhältnisse zu verbreiten im Stande ist.

Wir haben es mit einer Kettenbewegung zu thun, und ich komme auf mein ursprüngliches Beispiel zurück. Wenn durch einen elastischen Ball mehrere in Bewegung gesetzt sind, so wird jeder mit einer bestimmten Kraft nach einer bestimmten Richtung hinlaufen. Kraft und Richtung der Bewegung bedingen die Verschiedenheit unter den Kugeln; von ihnen hängt die Wirkung ab, die jede hervorbringen kann. Beim Aufbau des Organs sind verschiedene Zellenbildungen thätig. Jede Zelle trägt ihre Bewegung auf zwei Zellen über; sie thut diess in einer gewissen Richtung (der Länge, Breite, Dicke oder in einer mittlern) und mit einer gewissen Kraft (denn die Produkte sind verschieden); die verschiedenen Zellenbildungsprocesse charakterisiren sich durch die Stelle, die jede Zelle in dem werdenden Organ einnimmt, und durch ihre Produktionsfähigkeit.

Tragen wir diese Regeln auf die Kettenbewegung der Organbildung über. Die Verschiedenheit der Organe muss ebenfalls in der Kraft und der Richtung begründet sein, in welcher sie die empfangene Bewegung fortleiten, oder mit andern Worten in der Stelle, welche jedes bei dem Aufbau des Ganzen einnimmt, und in der Fähigkeit, die es besitzt, neue Organe zu erzeugen*). Auf der untersten Stufe des Reiches bringt das Organ, mit welchem die Pflanze beginnt, entweder gar keine seitlichen Organe hervor oder nur solche, die ihm selber vollkommen gleich sind. Die Pflanze besteht also aus einem einzigen, einfachen oder verzweigten Organ. Ich habe es Phytom genannt, gleichsam Pflanzenorgan, weil es das ganze Gewächs darstellt. Ich kenne bloss microscopische Algen und Pilze, welche hieher gehören. — Auf der zweiten Stufe des Pflanzenreiches bringt das erste oder centrale Organ, ausserdem dass es sich selber verzweigen kann, noch seitliche ihm selber ungleiche Organe hervor. Jenes habe ich Thallom (Laub), diese Trichome (haarförmige Gebilde) genannt. Beide sind bei den niedrigsten Algen fast von gleicher Grösse; bei den höhern Algen, Flechten, Pilzen und einigen Lebermoosen erreicht das centrale Organ eine beträchtliche Grösse, indess die seitlichen klein und haarförmig bleiben. — Die dritte Stufe des Reiches zeigt uns drei Organe, ein centrales, den Stengel, seitliche oder Blätter, die an allen Stengeltheilen stehen, und Trichome oder haarförmige Gebilde, welche an dem Stengel und an den Blättern befestigt sein können. Blätter und Stengel in ihrer Vereinigung oder der beblätterte Stengel der Moose ist das Analogon des Thalloms bei den Flechten und Algen. — Auf der vierten Stufe des Reiches, d. h. bei allen Gefässpflanzen setzen vier Organe den ganzen Bau zusammen: Stengel, Wurzeln, Blätter und Trichome. Ausser denselben und den vorhin für die niedern Pflanzen erwähnten giebt es überhaupt keine Organe von morphologischer Bedeutung in der Pflanzenwelt. Aber jedes einzelne derselben kann sich wieder in Haupt- und Nebenstrahlen gliedern.

---

*) Ich habe die folgenden Ideen als einen Versuch, eine morphologische Unterscheidung der Pflanzenorgane anzubahnen, etwas weiter entwickelt in der „Systematischen Uebersicht der Erscheinungen im Pflanzenreich," 1853. Pag. 24.

Die Organe, von denen ich eben gesprochen habe, sind morphologische Begriffe; sie stellen Bausteine dar, welche bei der Architektonik des Pflanzenstockes eine bestimmte Rolle spielen. Die physiologischen Functionen kommen dabei nicht in Betracht. Verschiedene Organe haben oft gleiche, das nämliche Organ oft verschiedene Verrichtungen. Das Blatt ist bald Ernährungsorgan als grünes Blatt, bald Haftorgan als Ranke, bald Waffe als Stachel, bald Schutz und Decke als Knospendecke, bald Zierde als Blumenblatt, bald dient es zur Vorrathskammer als fleischiges Niederblatt, bald zur Secretion als Honiglippe, bald zur Erzeugung von Keimen für neue Gewächse als Staubgefäss und Stempel, bald ist es verkümmert und ohne Function.

Die Gleichheit oder Ungleichheit der Organe ist es nicht allein, welche die Verschiedenheit im Aufbau des Pflanzenstockes bedingt. Ein zweites Moment liegt in der Zeitfolge, in welcher sie nach einander auftreten, und in ihrer räumlichen Anordnung. Die Regeln sind oft schon auf den ersten Blick deutlich, so bei der zeiligen Stellung der Seitenwurzeln, bei der Spiral- und Quirlstellung der Blätter, bei der Verzweigung vieler Blüthenstände. Oft verbergen sie sich unter scheinbar unregelmässigen Verhältnissen, und lassen sich nur durch die Entwickelungsgeschichte mühsam feststellen.

Wie der Aufbau des Pflanzenstockes auf der Thätigkeit des Organs beruht, so wird auch das Leben der ganzen Pflanze durch die Functionen aller ihrer Organe zusammengesetzt. Bei denjenigen Gewächsen, die aus einem einzigen Organ, aus einem Phytom, bestehen, vereinigt dieses alle Lebenserscheinungen in sich. So wie der Pflanzenkörper in mehrere Organe sich gliedert, so vertheilt er auch die Arbeit. Bei den höchsten und complizirtesten Gewächsen ist die Arbeitstheilung schon sehr ins Detail durchgeführt, und ein Baum mit seinen vielen tausend Organen ist ein wahres Kasten- und Innungsland, in welchem immer eine grössere oder kleinere Zahl von Individuen dem gleichen Stande und der gleichen Beschäftigung angehören. Die Wurzeln graben wie Bergleute Schachte in die Erde und holen Erz, Mineralien und klares Wasser; Stämme und Aeste nehmen das Gut ab und tragen es in die Höhe; die grünen Blätter verarbeiten es und scheiden das Brauchbare von der Schlacke, die sie auswerfen; Stämme und Aeste führen die assimilirte Nahrung wieder nach unten; die unterirdischen Stengel und deren Blätter (Niederblätter) speichern die überflüssige Nahrung zur Sommer- und Herbstzeit in Magazinen auf, um im Frühjahre die übrigen Glieder des Pflanzenstockes, wenn dieselben aus Mangel an Arbeit oder Arbeitsfähigkeit noch nicht selber für ihren Unterhalt sorgen können, damit zu versehen; die drüsenförmigen Organe befreien den Staat von überflüssigen und gefährlichen Gährungsstoffen; die Waffen (Stacheln und Dornen) dienen ihm zu einem oft zweifelhaften Schutz; die Ranken und Stützen suchen ihm, wenn er den Unbilden der Zeit nicht aus eigener Kraft zu widerstehen vermag, auswärtige Hülfe zu sichern; die höheren Stände aber, die in und neben den Blüthen ihren Sitz haben, üben theils die wichtigsten Functionen aus, theils verleihen sie dem Ganzen Pracht und Glanz.

Das Leben der Organe ist, wie wir gesehen haben, nicht stabil; es wandert von Zelle zu Zelle. Aehnlich verhält es sich auch mit dem Leben des Pflanzenstockes; es geht von Organ zu Organ. Viele Organe sterben im Laufe des Jahres, in welchem sie sich bildeten. Der Baum verliert im Herbste Blätter, Blüthen, Früchte. Diejenigen Organe aber, welche längere Zeit andauern, erzeugen jährlich neue Gewebstheile. So ist also die Innenbewegung der Pflanze selbst in einer steten Ortsbewegung oder Wanderung begriffen. Beim Thiere unterscheidet man den jungen unausgewachsenen von dem ausgewachsenen Zustande. Die Pflanzen, mit Ausnahme weniger niedriger und einfacher Gewächse, sind nie ausgewachsen. Sie vergrössern ihre Theile und bilden neue Organe, so lange sie leben.

Wenn aber auch die Pflanze immer wächst, so müssen wir doch in ihrem Leben zwei Perioden unterscheiden. Sie hat eine gewisse Zeit nöthig, um alle ihre morphologischen und physiologischen Entwickelungsstadien zu durchlaufen, um alle jene verschiedenen Organformen, deren sie fähig ist, zu verwirklichen. Von da ab bringt sie nichts Neues mehr hervor; sondern sie reproducirt bloss, was sie schon im Jahre vorher producirt hat. Ich will jenes die Periode der Ausbildung, diess die der Wiederholung nennen. Sobald sie die Periode der Ausbildung durchlaufen hat, so sind unter den jährlich abgeworfenen Theilen immer einzelne, welche Keime für neue Pflanzen enthalten und die wir Samen nennen. Aus dem Samen erwächst eine Pflanze, welche wieder Samen hervorbringt. So wird also die ganze Pflanze selbst zum Element einer neuen höheren Kettenbewegung.

Doch ich will Ihre Geduld für heute nicht weiter ermüden. Es bleibt mir nur noch übrig, Sie um Entschuldigung zu bitten, dass ich so viel Zeit für meinen Gegenstand in Anspruch nahm. Ich wünschte eben, die Anwendung eines allgemeinen Prinzips für alle Gebiete der Pflanzenwelt durchzuführen, und Ihnen zu zeigen, wie hier Alles auf Bewegung beruht und daraus hervorgeht. Und sollte nicht in einer Zeit voll geistiger, politischer, nationaler Bewegungen, wie die gegenwärtige, auch die Bewegung in der Natur etwas näher an uns herantreten? Aus meiner heutigen Betrachtung ergiebt sich folgendes allgemeine Gesetz. Im Pflanzenreiche sammeln sich immer viele elementare Bewegungen zu einheitlichen Wirkungen; diese verbinden sich wieder zu höhern Einheiten, und die letztern werden zu Bausteinen für noch vollkommnere Bildungen. So besteht alle Organisation in der Natur in einer Vereinigung von individuellen Theilen zu einem grössern Ganzen, ohne dass desswegen die Eigenthümlichkeit des Theils und des Theils vom Theile aufgehoben wird. So ist jede Vervollkommnung und jeder Fortschritt ein Zusammentreten von individuellen Bestrebungen zu einer höhern Einheit, ohne dass die freie Bewegung der Theile innerhalb gewisser Grenzen gehemmt ist. Sollte es im Staate und im Staatenverbande anders sein?

Die deutsche Eiche ist der schönste aller Bäume, weil ihre Aeste, was dem Auge des Botanikers besonders bemerkbar ist, am wenigsten sich einer steifen Regel fügen, und sich freier, ungezwungener als andere, ich möchte sagen mit genialer Kühnheit entfalten. Die deutsche Eiche ist der mächtigste und stärkste aller Bäume, weil viele Billionen von individuellen Massentheilchen und Zellen nur in der innigsten Vereinigung ihr Heil finden, weil alle individuellen Bewegungen unbedingt und mit grosser Selbstverläugnung nur einem Ziele zustreben. Möge die Nation ihrem Baume gleichen!

Zweiter Abend.

Ehe ich meine Betrachtung heute fortsetze, gestatten Sie mir den bisherigen Gedankengang kurz zu resümiren. Alles in der Natur ist in Bewegung, und jede einzelne Erscheinung ist das Resultat von vorausgegangenen Bewegungen. Der Bewegungen sind dreierlei: ein Körper ist in Ortsbewegung begriffen, wenn er seinen Platz im Raume, seine Stellung zu andern Körpern verändert. Er befindet sich in Innenbewegung, wenn seine Theile in seinem Innern Ortsveränderungen machen. Mehrere oder viele Körper zusammen führen eine Kettenbewegung aus, wenn je der eine seine Ortsbewegung oder seine Innenbewegung auf einen andern überträgt. — Die Grundlage aller materiellen Erscheinungen bilden die Ortsbewegungen der kleinsten Theilchen (Atome, Moleeüle). Dieselben gruppiren sich zusammen, und nachdem mehrere Stufen der Vereinigung überschritten sind, stellen sie die microscopisch kleine Pflanzenzelle dar. Das Leben oder die Innenbewegung der Zelle besteht, wenn wir sie analysiren, zuletzt aus den Ortsbewegungen der kleinsten Theilchen. Einzelne Seiten dieser Innenbewegung können so intensiv werden, dass eine Ortsbewegung der ganzen Zelle erfolgt, dass dieselbe im Wasser herumschwimmt. — Die Zellen erzeugen neue Zellen, vermehren sich und werden so zum Element oder Träger einer Kettenbewegung: und wenn sie mit einander in ein Gewebe verwachsen bleiben, so ist das Resultat dieser Kettenbewegung ein Organ (Blatt, Zweig, Wurzel). Das Leben oder die Innenbewegung des Organs ist die Summe der Lebensbewegungen aller seiner Zellen. Das Leben des Organs hat nicht immer seinen Sitz an dem nämlichen Ort, es wandert mit der Zellenbildung; es bringt Gestaltsveränderungen (Krümmungen, Drehungen) hervor, und wenn es in einzelnen Momenten sich besonders steigert, so führt es zu Ortsbewegungen (wie die Bewegungen der Blätter beim Wechsel von Tag und Nacht, bei der Fortpflanzung und auf äussere Reize). — Das Organ bildet neue Organe, die ihrerseits ebenfalls Organe hervorbringen. So entsteht eine neue Kettenbewegung aufeinanderfolgender Generationen von Organen, die alle mit einander zu einem Pflanzenstocke vereinigt bleiben. — Der Pflanzenstock, der seine volle Ausbildung erlangt hat, erzeugt Samen, aus denen neue gleiche Pflanzen sich entwickeln. Die Pflanze wird, indem sie sich fortpflanzt, ihrerseits zum Element einer höhern Kettenbewegung, in welcher Generation auf Generation folgt.

Die Kettenbewegung der Zellenbildung baut das Organ, diejenige der Organbildung baut den Pflanzenstock auf; denn die Zellen und die Organe bleiben mit einander verbunden. Die Pflanzenstöcke aber leben getrennt von einander. Sie sind die Träger einer Kettenbewegung, deren Resultat nicht ein zusammenhängender Organismus, sondern eine Anzahl von isolirten Individuen, nicht eine concrete Vereinigung, sondern eine abstracte Gemeinschaft ist. Aus einer Pflanze entstehen wieder nur ganz ähnliche Pflanzen, und alle Generationen, die durch Fortpflanzung aus einander hervorgehen, stellen zusammen eine Art oder Species dar. Es ist diess der Inbegriff aller Gewächse, die, so verschieden sie auch aussehen mögen, in historischer Zeit von einander abstammen und in einander übergehen können. So bilden alle Süsskirschen eine Art, die Sauerkirschen eine zweite, die Pflaumen mit kugeligen und die Zwetschen mit länglichen Früchten eine dritte und vierte, die Aprikosen und die Pfirsiche eine fünfte und sechste.

Eine Erscheinung, welche bei dieser Kettenbewegung, die wir Art nennen, vorkommt, verdient einer Erwähnung. Ich habe früher gesagt, dass die verschiedenen Zellenbildungen beim Aufbau der Organe bestimmte Richtungen einhalten. Das Nämliche findet mit der Organbildung beim Aufbau der Pflanze statt; sodass jedes Organ mit Rücksicht auf den erzeugenden Pflanzentheil eine bestimmte Wachsthumsrichtung hat, die wenigstens zunächst sein Verhalten bestimmt. An den Organen aller höhern Pflanzen unterscheidet man eine Basis, mit der sie angeheftet sind, und eine Spitze. Bei den Stammtheilen ist es die Spitze, welche weiter wächst. Die Knospen, die sich seitlich an den Aesten und Zweigen bilden, sind nach der Spitze derselben gerichtet und wachsen also in der nämlichen Richtung; die Terminalknospe aber setzt das Wachsthum des Zweiges selbst fort. Bei der Fortpflanzung findet eine merkwürdige Abweichung statt. In dem Samen ist ein Keim eingeschlossen, welcher ganz den Bau einer Knospe besitzt, und da er in der Mitte des obern Endes sich befindet, gleichsam eine Terminalknospe darstellt. Diese Knospe sollte nach der Regel ihre Spitze nach dem Scheitel des Samens, ihre Basis nach dem Grunde desselben richten. Aber sie steht verkehrt in dem Samen; ihr Wurzelende, das sich später zur Pfahlwurzel der neuen Pflanze entwickelt, schaut nach oben, ihre Stengelspitze nach unten.

Die Wachsthumsrichtung schlägt also bei der Samenbildung in ihr Gegentheil um. Die Tochterpflanze ist in der Mutterpflanze auf den Kopf gestellt. Die neue Generation ist der erzeugenden morphologisch antipod. Die Pflanze erinnert auch hierin an menschliche Dinge. Die Jugend hat das Bestreben sich zu emanzipiren; die Negation wird mit ihr geboren. Aber in der Wissenschaft und im Leben hat sie es doch nie zu dem absoluten Gegensatz gebracht, wie er in der Pflanze verwirklicht ist. Freilich bleibt auch hier dieser morphologische oder prinzipielle Widerspruch nur so lange unvermittelt, als er nicht in die Schule der Praxis tritt. Wenn die Samen abfallen und freier selbständiger Entwicklung überlassen sind, so drehen und wenden sie sich, bis sie wieder gerade so ihre Wurzel nach unten und ihren Stengel nach oben treiben, wie es ihre Vorfahren thaten.

Die Pflanzenart ist eine Kettenbewegung, in welcher die Pflanzenindividuen (die ganzen Gewächse) einander ablösen. Von Arten sind über 200,000 bekannt, und über 400,000 bedecken jetzt die Erdoberfläche. Eine noch viel grössere Zahl hat vor unserer Zeit gelebt, und ist untergegangen mit den allmäligen und den revolutionären Veränderungen, welche die Erdoberfläche erlitten hat. Alle diese jetzt lebenden und vorweltlichen Pflanzen zusammen bilden das ganze Reich. Aeussere Gründe, gegeben durch die Vergleichung von Floren successiver geologischer Perioden, und innere Gründe, enthalten in physiologischen und morphologischen Entwicklungsgesetzen und in der Veränderlichkeit der Art, lassen kaum einen Zweifel darüber, dass auch die Arten aus einander hervorgegangen sind. Das ganze Reich stellt somit selber sich als eine Kettenbewegung dar, deren Bewegungselement die Art ist. Und die Art erscheint als ein der Zelle, dem Organ, dem Pflanzenstock analoger Begriff, als eine individuelle Erscheinung, bestehend in einer Summe von zusammengehörigen Bewegungen, welche einen Anfang, einen gesetzmässigen Verlauf und ein nothwendiges Ende hat, eine individuelle Erscheinung, die aber aus sich neue analoge individuelle Erscheinungen oder Arten ebenfalls in gesetzmässiger Folge hervorbringt. Und wie die Zelle zum Organ, das Organ zum Pflanzenindividuum, das Pflanzenindividuum zur Art, so baut sich die Art zum Reiche auf, immer höher anstrebend und immer vollkommner werdend.

Ich suchte Ihnen zu zeigen, dass die ganze Pflanzenwelt ihr Sein und Wesen einer Summe von verketteten Bewegungen verdankt, welche von den unsichtbaren und winzigen Atomen und Moleculen ihren Ausgang nehmen, durch Vereinigung zu Elementarformen, zu Zellen, zu Organen, zu Pflanzenstöcken, zu Arten immer ansehnlicher und bedeutender werden und zuletzt das ganze Reich in einer einheitlichen Bewegung zusammenfassen. Das Prinzip bleibt von Anfang bis zu Ende das nämliche. Es treten Bewegungen zu einem gemeinsamen Complex zusammen; dieser Complex stellt eine einheitliche oder individuelle Erscheinung dar; er wird als solche Element einer höhern Bewegung, indem er andere gleichartige Bewegungscomplexe erzeugt.

Ich ziehe daraus zwei Schlüsse für die Betrachtung der Pflanzenwelt, indem ich als unbestritten voraussetze, dass die wissenschaftliche Behandlung um so wahrer und richtiger ist, je mehr sie sich dem Gange der Natur selbst anschliesst. Der erste Schluss ist, dass wir eine Erscheinung der organischen Natur nur dann wirklich kennen, wenn wir sie als Bewegung erfassen, d. h. wenn wir sie von ihrem ersten Entstehen bis zum endlichen Schlusse in allen ihren Veränderungen verfolgen können. Wir sehen eine Zelle, ein Organ, eine Pflanze; wir studiren alle ihre Theile, wir kennen sie nach ihrer anatomischen und chemischen Zusammensetzung ganz genau. Aber dieser Zustand, den wir nun erkannt haben, ist bloss ein Moment aus einer Bewegung. Unmittelbar vorher war die Erscheinung eine etwas andere; unmittelbar nachher wird sie wieder eine etwas andere sein, weil sie in Bewegung und Veränderung sich befindet. Der gleiche anatomische Bau kann auf verschiedene Weise entstanden sein, also eine verschiedene Bedeutung haben, und demnach auch in der Folge ungleich sich weiter bilden, auf ungleiche Art neue Organe oder Organtheile hervorbringen. Wenn der Astronom einen Cometen gesehen hat, so weiss er noch nichts über seinen Lauf. Er muss mehrere genau gemessene Punkte haben, um seine Bahn bestimmen zu können. So verhält es sich mit der Lebensbahn der Organismen; nur dass dieselbe viel verwickelter und, was ihre Gesetzmässigkeit betrifft, noch unendlich viel dunkler ist als der Umlauf eines Cometen. Daher bedarf es auch, um sie construiren zu können, einer viel grössern Zahl von Durchgangspunkten, d. h. von beobachteten Entwickelungsstadien; und namentlich ist dazu auch das allererste und das letzte, der Ausgang und das Ende der ganzen Bewegung nothwendig. — Die Forderung der Entwickelungsgeschichte hat sich in neuerer Zeit fast in allen Gebieten der botanischen Wissenschaft geltend gemacht. Dieselbe ist von der thierischen und menschlichen Physiologie herübergekommen. Dort versteht man darunter die Zustände, welche dem entwickelten oder ausgewachsenen Zustande vorausgehen. Bei der Pflanze und ihren Theilen, die immerfort sich entwickelt, muss die ganze Lebensgeschichte Aufschluss über ihr Wesen geben. Betrachten wir vollends die individuelle Erscheinung nicht bloss für sich, sondern als Theil eines Ganzen, so müssen wir sie bis auf die allerletzten Zustände verfolgen, um zu erkennen, was aus derselben wird, und um über die Bedeutung Aufschluss zu erhalten, welche sie in dem ganzen Getriebe von Bewegungen hat.

Um irgend eine individuelle Erscheinung im Pflanzenreiche zu erkennen, müssen wir sie als Bewegung von ihrem Beginne bis zum Untergange erfassen. Analysiren wir diese Bewegung, so besteht sie nicht aus gleichartigen Theilen; sie zerfällt in complizirtere und einfachere Bewegungen, und muss aus den nächsten Bestandtheilen construirt werden. Es ist diess die zweite allgemeine Betrachtung, die ich an meine ganze Auseinandersetzung knüpfen, und die ich nach zwei Seiten hin geltend machen möchte. Früher betrachtete man jede Erscheinung für sich, den Baum, ohne sich von der Aufeinanderfolge der Organe, das Organ, ohne sich von der Aufeinanderfolge der Zellen Rechenschaft zu geben. Die Blattstellung z. B. gründet sich jetzt noch auf die Betrachtung des Fertigen; sie wird eine festere Begründung erhalten, wenn sie auf die microscopischen Entwicklungszustände zurückgeht; aber ihre volle wissenschaftliche Vollendung wird sie erst gewinnen, wenn es möglich ist, die Zellen an dem Stamme zu bezeichnen, aus denen die Blätter entstehen, d. h. wenn die Aufeinanderfolge der Blätter mit der Wachsthumsbewegung des sie erzeugenden Organs in Zusammenhang gebracht werden kann.

Wenn ich nach dieser Seite hin die Forderung stelle, dass eine Erscheinung wissenschaftlich nur aus der Bewegung ihrer Elemente erforscht werden kann, so möchte ich nach einer andern Seite hin ebenso der Ansicht Anerkennung verschaffen, dass diess zu einer wissenschaftlichen Behandlung ausreicht, wenn wir auch das Element der Bewegung nicht in allen seinen Beziehungen kennen. In neuester Zeit hat es oft den Anschein gewinnen wollen, als ob nur die microscopische Beobachtung Wissenschaft sei, und als ob Alles nur aus der Zelle erkannt werden könne. Für das Studium des Reiches, der Art, des Pflanzenstockes sollte die Zelle die Grundlage bilden. Es war natürlich, dass das verbesserte Microscop die wissenschaftlichen Kräfte vorzugsweise auf ein neues und unbekanntes, an Erfolgen und an Täuschungen reiches Feld zog, dass über dem neuentdeckten Amerika die alten Länder vielfach vernachlässigt wurden, und dass man wähnte, nur von dort ächtes Gold und Silber zu beziehen. — Aber die Zelle selber ist nichts Einfaches; sie wird aus chemischen und physikalischen Processen zusammengesetzt; sie ist das Resultat von Molecularbewegungen. Wenn wir also wirklich auf die einfachsten Elemente als auf die einzige wissenschaftliche Grundlage zurückgehen müssten, so wären es nicht die Zellen, sondern die moleculären Vorgänge. Es ist auch wohl keinem Zweifel unterworfen, dass nach der microscopischen Periode die chemisch-physikalische kommen wird. Aber wie man zuweilen den Wald vor lauter Bäumen nicht sieht, so ist es auch möglich, vor den Zellen und vor den Atomen nicht die Pflanze zu sehen. Wenn ich auch anerkenne, dass die microscopische Betrachtungsweise jetzt naturgemäss an der Tagesordnung ist und die physikalische bald an die Tagesordnung kommen und dominiren muss, so behält doch das Studium des Organs und der ganzen Pflanze, der Arten und des ganzen Reiches ebenfalls seine Berechtigung, und bleibt immer wissenschaftlich, wenn es sich auf die Kenntniss der constituirenden Elemente stützt, so weit diese unmittelbar bei der Bewegung thätig sind. Die Wissenschaft muss in allen ihren Theilen cultivirt und ausgebaut werden; es ist selbst mit den Molecülen und den Zellen wenig anzufangen, wenn nicht andere Gebiete der Wissenschaft das Ziel, nach dem jene elementärsten Bewegungen hinstreben, aufzeigen und den Weg dazu ebnen.

Die Existenz der Pflanzenwelt beruht auf einer Summe von Bewegungen. Jede Bewegung setzt eine Kraft voraus, von der sie ihren Anstoss empfing. Wir werden also nach den Kräften fragen, welche in der Pflanzenwelt wirksam sind. Wenn wir ihre Erscheinungen, sie mögen noch so mannigfaltig und complizirt sein, in die Bestandtheile zerlegen, so kommen wir zuletzt immer auf die Molecularbewegungen, wie die Manöver einer Armee, ihrer verschiedenen Divisionen, ihrer Regimenter, Bataillone, Compagnien schliesslich nur von den einzelnen Soldaten ausgeführt werden. Es müssen daher auch die Kräfte, welche Alles bewirken, Molecularkräfte sein.

Was thut nun die Pflanze, was geht mit den unorganischen Stoffen, mit

Erde, Wasser und Luft vor, dass sie zur Pflanze sich organisiren? Kohlensäure, Wasser, Ammoniak, Mineralsalze werden zerlegt, in organische Substanzen umgewandelt, diese wiederholt in andere Verbindungen übergeführt, dabei überflüssige Stoffe ausgeschieden, einige der organischen Verbindungen zu Elementarformen und zu Zellen organisirt, ein Theil der organisirten Stoffe wieder aufgelöst und an andere Stellen hin transportirt. Alles diess sind moleculäre Vorgänge, von denen wir meistentheils nicht viel mehr wissen, als dass sie existiren. Ueber die Art und Weise, wie sie geschehen, herrscht ein noch wenig erhelltes Dunkel. Auf diesem Wege können wir die Kräfte, welche das lebende Getriebe in der Pflanze in Bewegung setzen, nicht erkennen; denn die genaue Analyse der Vorgänge führt uns überall auf ungelöste Räthsel.

Dagegen können wir auf einem andern Wege eine etwelche Einsicht in die Arbeit der Pflanze bekommen und in die Kräfte, welche die Arbeit zu Stande bringen. Es wundert Sie vielleicht, von der Arbeit der Pflanze sprechen zu hören. Man ist gewöhnt, sie als einen Faullenzer zu betrachten, der sein Leben im dolce far niente dahin träumt. Allerdings schläft, wie wir gesehen haben, die Pflanze zu ihrer Zeit; aber sie verdient sich die Ruhe durch vorausgehende Anstrengung. Sie arbeitet wie die Maschine, wie das Thier, wie der Lastträger und der Handwerker. Die Grösse der Arbeit können wir nach dem Kraftaufwande bemessen, den sie nöthig hatte, um Erde, Wasser und Luft in Holz, Blätter und Wurzeln zu verwandeln. Wir wissen, was die Pflanze von aussen aufnimmt, was sie nach aussen ausscheidet, und was als vegetabilische Substanz zurückbleibt, wir wissen, welche Summe von Bewegung oder welche Kraft in dieser Substanz enthalten ist, — und können somit die Kraftmenge berechnen, welche in der Pflanze thätig war.

Ich erinnere Sie an die ausgezeichnete Darstellung, welche vor einem Jahre von dieser Stelle aus Ihnen die Beziehungen der Kräfte unter einander vorführte*). Mechanische, chemische, elektrische, magnetische Kraft, Wärme, Licht verwandeln sich in einander; die Grösse der Kraft bleibt aber immer dieselbe, sie mag in dieser oder einer andern Form auftreten. Gelten diese Beziehungen, die in der unorganischen Natur gültig sind, auch für die Pflanze, so lässt sich die Arbeit der letztern genau bestimmen. Kohlensäure, Wasser und Ammoniak werden zu organischer Substanz. Durch Verbrennung können wir die organische Substanz wieder in Kohlensäure, Wasser und Ammoniak zurückführen. Dabei wird Wärme frei, welche eine gewisse Summe von Kraft darstellt; denn mit ihr kann Arbeit verrichtet werden wie mit dem fallenden Wasser oder mit der Muskelbewegung. Die frei werdende Wärme zeigt uns also ganz genau, wie viel Kraft in der Pflanze nöthig war, um die von aussen aufgenommenen unorganischen Stoffe in organische Substanz umzuwandeln.

Es handle sich darum, die ganze Arbeit eines 100jährigen Baumes zu bestimmen. Wir müssen nicht bloss alles Holz sammt den Wurzeln in Asche verwandeln, sondern ausserdem auch die Verbrennungswärme der ganzen Substanzmenge berechnen, welche er während seines Lebens verloren hat, an jährlich abgeworfenen Blättern, Blüthen und Früchten, an Zweigen, die durch den Sturm geknickt wurden, an Wurzeln, die in Verwesung übergegangen sind, an abgeschuppter Rinde, an organischen Stoffen, die in tropfbar flüssigem oder gasförmigem Zustande ausgeschieden wurden. Diese ganze Wärmemenge giebt uns ein Maass für einen Theil der Arbeit des Baumes.

---

*) Ueber die Verwandlung der Kräfte von Freiherr v. Liebig.

Diess ist nicht alle organische Substanz, die von der Pflanze gebildet wurde, sondern nur diejenige, welche unserer direkten Wahrnehmung zugänglich ist, welche möglicher Weise gemessen und gewogen werden kann. Es sind in der Pflanze wohl immerfort langsame Verbrennungsprocesse thätig, welche zwar nicht in Flammen aufschlagen, welche aber doch kohlen- und wasserstoffreiche Verbindungen in Kohlensäure und Wasser umwandeln. Sie lassen sich zwar nicht immer nachweisen; ihre Anwesenheit giebt sich aber kund in der Kohlensäure, welche von allen Pflanzentheilen während der Nacht und von den nicht grünen Geweben auch am Tage ausgehaucht wird. In einzelnen Fällen ist die ausgeschiedene Kohlensäuremenge sehr beträchtlich, und es zeigt dann auch der Pflanzentheil deutlich eine erhöhte Temperatur. Die keimenden Samen und die Blüthen einiger Gewächse zeichnen sich in dieser Beziehung aus. In einem Malzhaufen, der aus keimenden Gerstekörnern besteht, steigt die Wärme, bei 15 Grad Lufttemperatur, auf 27°; bei andern Samen wurden bis 50° C. beobachtet. An Blüthenkolben von Aroideen nahm man, bei 24° Lufttemperatur, eine Wärme von 55° wahr. — Ein Theil der durch die langsamen Verbrennungsprocesse in der lebenden Pflanze erzeugten Wärmemenge wird ohne Zweifel sogleich wieder zu Assimilations- und Umbildungsprocessen verwendet, und kommt daher hier nicht in Betracht. Ein anderer Theil aber verlässt die Pflanze; wie viel er betrage, darüber lässt sich noch keine Vermuthung aufstellen; in frischen und klaren Nächten möchte der Wärmeverlust aber nicht unbeträchtlich sein. — Die Wärme, die von der Pflanze abgegeben wird, bildet einen zweiten Theil der Arbeit des Baumes.

Die Pflanze nimmt gewöhnlich eine grosse Menge Wasser auf, die sie nicht zu ihrem Wachsthum bedarf und daher wieder ausscheidet. Sie giebt es aber nicht in tropfbar flüssigem Zustande ab, wie sie es empfangen hat, sondern in Dampfform. Die Verdunstung geschieht im Innern der Blätter*), und erfordert eine grosse Menge von Wärme. Denn um 1 Pfund Wasser in Dampf zu verwandeln, bedarf es so viel Wärme, als um 5½ Pfd. von der Temperatur des Eises zum Kochen zu erhitzen, – und ein mit Obstbäumen bepflanzter Morgen verdunstet den Sommer über etwa 4 Millionen Pfund Wasser, eine Kohlpflanze während 12 Tagesstunden durchschnittlich 1¼ Pfund. Diess macht einen dritten Theil der Arbeit eines Baumes aus.

---

*) Das Wasser verdunstet nicht an der Oberfläche des Organs, — denn die Cuticula der Epidermiszellen verhindert den Austritt desselben fast vollständig, — sondern im Innern des Gewebes an der Oberfläche der einzelnen Parenchymzellen, und tritt als Dampf durch die Spaltöffnungen heraus. Die Wärme, welche zur Verdunstung erforderlich ist, wird also dem Gewebe selbst entzogen; und wenn sie auch von aussen kommt, so muss sie doch durch die Pflanzensubstanz hindurchgehen.

Die Pflanze nimmt fast alles Wasser und den grössten Theil der übrigen Nahrungsstoffe mit den Wurzeln auf. Sie muss dieses Material empor zu den Blättern führen. Diese Arbeit des Baumes ist die einer Maschine, welche Wasser in die Höhe pumpt, und eines Lastträgers, der Holz auf den Estrich trägt. Um sie zu berechnen, müssen wir das Gewicht des Baumes, die Höhe aller seiner Theile, das Gewicht alles dessen, was er durch Verdunstung und auf anderem Wege verloren hat, und die Höhe, in welcher er es verloren hat, kennen. Genau lässt sich die Rechnung nicht ausführen, aber annähernd können wir doch angeben, wie hoch sich der Transport, dieser vierte Theil der Arbeit eines Baumes, beläuft.

Damit ist die Arbeit der Pflanze gethan. Wir können sie für einen bestimmten Fall berechnen. Wir können, da alle Kräfte sich auf ein gemeinsames Maass zurückführen lassen, sie darstellen als eine Summe von Pferdekräften, von Gewicht, das auf eine bestimmte Höhe gehoben wird, von Wärmeeinheiten. Ich will Sie nicht in das Arbeitszimmer des Calcüls führen. Dieser im Arbeitskittel ebenso langweilige und trockene Geselle, als er schmuck und fix mit seinen Produkten aus der Werkstätte heraustritt, möge uns lieber einfachen Rapport über seine gewonnenen Resultate abstatten. Er sagt: die ganze Arbeit, die ein Morgen Hochwald in einem Jahre verrichtet, beträgt etwas mehr als eine Billion Wärmeeinheiten. Sie ist gleich der Arbeit, die man mit einer Wärmemenge erzielen könnte, welche 22,170,000 Pfund Eiswasser zum Kochen bringt. Die Wärme, welche zur Verdunstung des überflüssigen Wassers nothwendig ist, erhitzt allein 22 Millionen Pfund. Die übrige Arbeit ist dagegen verschwindend klein. Die Verdunstung nimmt 131 mal mehr Kräfte in Anspruch als die Assimilation, diese 88 mal mehr als der Transport. — Die Verdunstung eines Morgens Wald während 120 Sommertagen verzehrt eine Kraft, die gleich ist der unausgesetzten Arbeit von 1160 Pferden während derselben Zeit. Es versteht sich, dass ich ein Pferd nur am Tage arbeiten lasse. Die Assimilation ist gleich der Arbeit von 11 Pferden während des ganzen Sommers. Um den Transport zu verrichten, d. h. um das Wasser und die darin gelösten Stoffe bis in die Wipfel der Bäume zu pumpen, müsste ein Pferd täglich nur etwas mehr als eine Stunde arbeiten. — Ein grosser Eichbaum verrichtet im Ganzen täglich ebenso viel Arbeit als 7 Pferde.

Die Pflanze arbeitet also. Der Begriff der Arbeit ist für sie der nämliche wie für das Thier und die Maschine. Denn, was sie an Kraft ausgiebt, oder in gebundenem, gespanntem Zustande anhäuft, sodass es nachher wieder als lebendige Kraft verwerthet werden kann, habe ich Arbeit genannt. — Wie Thier und Pflanze in so mancher Beziehung einen merkwürdigen Gegensatz bilden, so auch in der Arbeit. Das Thier pflegt sich zur Verdauung hinzulegen und nachher ist es zu Kraftäusserungen geneigt; Verdauung und Assimilation erfordern bei ihm keine Anstrengung; den Zustand, in welchem sie die einzige Beschäftigung bilden, nennen wir Ruhe. Die Pflanze dagegen arbeitet, indem sie verdaut; bei ihr ist die Verdauung sogar die einzige Arbeit, denn mit der Assimilation ist auch die Verdunstung und der Transport verbunden. Das Thier sammelt während der Nachtruhe neue Kräfte, die es am Tage als Arbeit ausgiebt. Die Pflanze häuft durch ihre Tagesarbeit Kraft in Form von organischen Verbindungen an; indess sie Nachts nichts anderes thut, als dass sie einen geringen Theil derselben wieder durch Verbrennung verliert.

Ich habe als Arbeit der Pflanze die Bildung der organischen Substanz, den Transport und die Verdunstung bezeichnet. Von diesen drei Werthen ist der erstere constant; um 1 Pfund Tannenholz zu erzeugen, bedarf es immer der nämlichen Kraft. Der Transport hängt von der Höhe ab. Die Verdunstungsarbeit aber variirt. Die gleiche Pflanze verdunstet in trockener, warmer und bewegter Luft eine grosse Menge Wasser, in feuchter, kalter und ruhiger Luft dagegen nur wenig.

Die Verdunstung ist für das Pflanzenreich von grosser Wichtigkeit. Die Assimilation und die übrigen Lebensprocesse gehen bei höherer Temperatur lebhafter von statten als bei niederer. Aber wenn ein Maximum, das für jede Pflanzenart ein bestimmtes ist, überschritten wird, so treten andere chemische Processe (Zersetzung und Oxydation) ein. Wenn die Julimittagssonne auf ein Brett scheint, so wird dasselbe brennend heiss. Die Pflanzenblätter würden durch eine solche Temperatur sogleich zu Grunde gehen. Aber sie bleiben kühl, weil mit der Steigerung der Hitze auch der Kälte erzeugende Process der Verdunstung sich steigert. Für die Alpen- und die Polarpflanzen ist, ungeachtet der Verdunstung, die Temperatur bei uns zu hoch, für die tropischen Gewächse in Folge derselben zu gering. Beide gedeihen im Freien schlecht. Die Pflanzen der heissen Zone werden in Glashäusern gezogen, in denen eine ruhige und feuchte Luft keine beträchtliche Verdunstungskälte veranlasst. Es kann aber der tropischen Flora in unsern Häusern auch zu warm werden; die Sonne verbrennt die Pflanzen, wie der Gärtner sagt. Man hilft durch Beschatten oder durch Luftgeben. Beides hat die gleiche Wirkung. Das Lüften führt eine Bewegung der Atmosphäre herbei, ersetzt die mit Wasserdampf gesättigte durch trockene Luft, und befördert somit die Verdunstung.

Die Verdunstung kann also die Assimilation befördern, wenn sie eine über das spezifische Maximum hinausgehende Wärme vermindert. Sie verlangsamt aber die Assimilation immer, wenn sie die Temperatur zu sehr erniedrigt. Eine Pflanze wird dann unter den günstigsten Bedingungen sich befinden, und am meisten organische Substanz aus unorganischen Verbindungen assimiliren können, wenn sie in einer fast bis zur Sättigung feuchten Atmosphäre und in einer ihrem spezifischen Maximum nahe kommenden Temperatur dem Einflusse des Lichtes ausgesetzt ist, oder wenn die Verdunstung eine allzugrosse Hitze bis wenig unter dieses Maximum ermässigt*).

Es ist eine bekannte Thatsache, dass auf Berggipfeln und überhaupt auf kahlen Höhen die Bäume niedrig und buschig bleiben, und dass in abgeholzten Alpen es fast unmöglich ist, wieder Wald zu pflanzen. Der Wind lasse die jungen Bäume nicht aufkommen, sagt man gewöhnlich. Diess ist richtig; aber die Schuld trägt nicht die mechanische Gewalt der nur zeitweise tobenden Stürme, sondern der fortwährende Luftzug, der den Pflanzen eine grosse Menge Wasser und damit eine grosse Menge Wärme entzieht. Die verkrüppelten Gewächse arbeiten fortwährend. Aber sie bringen es zu nichts, weil sie ihre Kraft in nutzloser Anstrengung zu vergeuden gezwungen sind. Wie die Kuh, die als Zugthier verwendet wird, wenig Milch liefert, so producirt der Strauch, dessen Arbeitskraft für den Transport und die Verdunstung von Wasser zu sehr in Anspruch genommen wird, wenig Holz.

Die Hochebene Münchens hat im Allgemeinen einen spärlichen Pflanzenwuchs; die Schuld daran trägt namentlich auch der starke Luftzug. Dieser wirkt um so nachtheiliger, als die dünne Schicht Dammerde auf einer trockenen kiesigen Unterlage ruht. Die Luftströmung entführt dem Boden viel Feuchtigkeit und entzieht der Pflanze durch lebhafte Verdunstung eine grosse Menge der Wärme, welche sie zur Assimilation verwenden sollte. Es müsste von grossem Nutzen sein, wenn unsere Hochebene in bestimmten Distanzen von schmalen Waldstreifen durchzogen wäre. Dadurch würde die Bewegung der Luft unmittelbar an der Erde gehemmt und in Folge dessen die Bodenfeuchtigkeit vermehrt und die Verdunstungskälte in der Pflanze vermindert.

---

*) Es ist eine allgemein verbreitete Ansicht, dass die Menge des von der Pflanze aufgenommenen Wassers zu dem verdunsteten in einem bestimmten Verhältnisse stehe; und die Bestimmung dieses Verhältnisses war das Problem verschiedener Forscher. Allein die Verdunstungsmenge ist eine sehr variable Grösse; in einer mit Wasserdunst fast gesättigten Luft wird sie unendlich gering, und bei den unter Wasser lebenden Gewächsen verschwindet sie ganz. — Die theoretische Begründung jener Annahme meint, dass die Pflanze „wegen der geringen Löslichkeit mehrerer ihr nothwendiger Substanzen eine grosse Menge Wassers bedürfe"; und diese Meinung beruht auf der weitern Theorie, die Aufnahme der löslichen Stoffe und der Transport derselben innerhalb der Pflanze werde durch strömendes Wasser vermittelt. Es ist das eine von der Circulation thierischer Flüssigkeiten herübergekommene Anschauung, die ihre scheinbare Bestätigung in dem Thränen der Weinrebe erhielt. — Dagegen ist zu bemerken, dass die Bewegung der löslichen Verbindungen durch die Pflanzengewebe eine Diffusionsströmung ist. Es kann eine gleichzeitige und gleichlaufende Bewegung der Wassermolecüle hinzukommen; allein die letztere ist durchaus nicht nothwendig. Die Wasserpflanze nimmt ihren Bedarf an Salzen auf, ohne dass desswegen ein Atom Wasser mit hineingehen muss. Ebenso verhält es sich mit Landpflanzen, die von einer mit Wassergas gesättigten Luft umgeben sind. Die Leitung der unorganischen Nahrungsstoffe von den Wurzeln zu den Blättern, die Leitung der assimilirten Verbindungen von den letztern zu den erstern kann stattfinden, ohne dass ein Atom Wasser sie begleitet. Circulation der gelösten Stoffe und Strömung des Wassers sind zwei von einander unabhängige Processe, obgleich sie oft zusammen vorkommen. — Wenn man für die Bewegung der Stoffe in der Pflanze die Wege aufsuchte, so müsste nach der bisherigen Vorstellung die Leitung in verschiedener Richtung getrennt sein. Der aufsteigende Saftstrom soll innerhalb des Cambiumringes (im Splint), der absteigende ausserhalb desselben (in der Rinde) seinen Sitz haben. Eine solche Trennung ist aus andern Gründen nicht unwahrscheinlich; allein was die mechanische Fortbewegung betrifft, so giebt es keinen Grund, warum auf- und absteigender Strom nicht zeit- und stellenweise durch die nämlichen Zellen gehen könnten, warum nicht durch die gleiche Wassermenge eine Diffusionsströmung von Salzen nach oben, von Zucker, Dextrin und Proteinverbindungen nach unten stattfinden könnte.

Die grösste Produktion organischer Substanz findet unter den Tropen statt. Was ein Urwald producirt, davon wissen wir zwar nichts. Aber ein mit Bananen bepflanzter Morgen liefert 988 Centner frischer Früchte und nährt 50 Menschen, während derselbe Raum in Ländern mit Weizencultur durchschnittlich nur 3 Menschen zu sättigen vermag. Dennoch scheint die Vegetation unserer jetzigen heissen Zone weit hinter derjenigen zurückzustehen, welche zur Zeit der Kohlenperiode vor vielleicht 9 Millionen Jahren die Erde bedeckte, und welche die Steinkohlenlager gebildet hat. Sie haben vielleicht schon ideale landschaftliche Darstellungen aus jener längst entschwundenen Zeit gesehen; ein düsterer Wolkenhimmel hängt über dem von ewigem Platzregen und Sturm gepeitschten üppigen Calamiten- und Farrenwald. Ich möchte aber vermuthen, dass das Clima ein freundlicheres und der Vegetation günstigeres war. Die Temperaturverschiedenheiten in der heissen, gemässigten und kalten Zone sind es, welche jetzt den aufsteigenden Strom am Aequator, sein Abfliessen nach den Polen hin, und sein Zurückströmen verursachen, welche die oberen und unteren Passatwinde, die Aequatorial- und Polarströme und daraus alle übrigen Winde erzeugen. Die Luftströmungen, welche wärmere mit Wasserdampf gesättigte Schichten mit kalten in Berührung bringen, sind es aber, welche Wolken und Regen hervorbringen. In der Kohlenperiode herrschte eine hohe mittlere Jahrestemperatur von 26—30° Celsius, welche vorzüglich von der Wärme des Bodens herrührte; sie war ziemlich die nämliche am Aequator und an den Polen, wie auch die Vegetation beinahe gleich war. Die viel Wasserdampf enthaltende Atmosphäre zeigte fast überall die gleiche Erwärmung und daher nur geringe Bewegung. Der ewig blaue Himmel gewährte der Vegetation eine unverkümmerte Lichtfülle; reichlicher Thau oder Regen erquickte sie während jeder Nacht, wozu stellenweise auf der Erdoberfläche noch periodische Regenzeiten kommen mochten; die an Kohlensäure reiche Atmosphäre lieferte Nahrung im Ueberfluss. Die Pflanzenwelt befand sich unter den günstigsten Verhältnissen; sie konnte ihre ganze Thätigkeit der Produktion organischer Substanz zuwenden, und sie war so eifrig in der Erfüllung ihrer Bestimmung, dass die von ihr erzeugten über einander liegenden Kohlenlager eine Gesammtmächtigkeit bis auf 190 Fuss erreichen und in vielen Jahrtausenden nicht erschöpft sein werden.

In den Beispielen, deren ich erwähnte, ist die Arbeit der Pflanze immer bedeutend; sie wird aber bald mehr für Verdunstung, bald ausschliesslicher für die Assimilation verwendet. Als Gegensatz erlauben Sie mir noch ein Beispiel anzuführen, wo die Arbeit auf ein Minimum herabsinkt. Wenn man einen Hochwald abschlägt, so erscheint eine neue Vegetation; Pflanzen, welche vielleicht weit und breit nicht vorkommen, erscheinen auf einmal und bedecken während mehrerer Jahre den abgeholzten Boden. Sie vermindern sich, sowie der junge Baumwuchs in die Höhe geht, und verschwinden endlich im Waldschatten gänzlich, um nach 100 oder mehr Jahren, bei einem neuen Holzschlage, wieder aufzuerstehen. Die Vegetation des abgehauenen Waldes geht zum Theil aus Samen auf, welche von vermoderndem Laub und Humus bedeckt in dem kühlen Grunde schlummern, bis die Schattendecke schwindet und der erwärmende Sonnenstrahl den Boden wieder trifft. Ein anderer Theil jener Vegetation aber war nicht im Schlafe der Samen versunken, sondern zeigte einige, wenn auch geringe, aktive Lebenserscheinungen. Es sind diess krautartige perennirende Pflanzen, von welchen unter normalen Verhältnissen im Herbst die überirdischen Theile, die jedes Jahr gebildet werden, absterben, indess die unterirdischen Theile ausdauern. Wenn nun der aufwachsende Wald dem Boden das Licht und die Wärme entzieht, so vermögen diese Gewächse keine Stengel mehr über die Erde zu erheben. Sie bilden nur kurze unterirdische Triebe, und kriechen in dieser Weise langsam und träge fort, bis sie von der Sonne wieder zu freudigerem Wachsthum angeregt werden. Die Arbeit, die sie während der Zeit dieses Scheinlebens verrichten, ist möglichst gering. Sie besteht fast nur darin, dass die schon vorhandene organische Substanz aufgelöst und zur Bildung neuer Triebe verwendet wird; dieselbe erhält, bei der unbedeutenden Einwirkung des Lichtes, jährlich nur einen sehr geringen Zuwachs. Die Assimilation ist also unbedeutend; die Verdunstung mangelt fast ganz, und der Transport in horizontaler Richtung und auf sehr kleine Entfernungen erfordert nicht die geringste Anstrengung.

Die Pflanze, die eine so grosse Arbeit leistet, dass ein einziger Baum es 7 Pferden gleich thut, muss irgendwoher so viel Kraft empfangen, als sie aufwendet. Wir kennen mit Sicherheit nur zwei Kraftquellen für die Pflanze, das Licht und die Wärme. Die Assimilation, welche die unorganischen in organische Verbindungen überführt, geschieht unter dem Einfluss des Lichtes; die grünen Gewebe, in welchen die Desoxydation vollzogen wird, absorbiren die nicht grünen Strahlen des Sonnenlichtes (oder des weissen Lichtes). — Die Pflanze nimmt auch eine grosse Menge von Wärme auf. Jede der drei Arbeitsleistungen der Pflanze (Assimilation, Verdunstung und Transport) erfordert eine gewisse Temperatur, und wird bei Steigerung derselben innerhalb bestimmter Grenzen lebhafter. Selbst die Assimilation kann durch das Licht allein nicht vollbracht werden. Die Verdunstung geschieht sicher durch Wärme; wenn auch das Licht durch Herbeiführung eines mechanischen Effectes erst deren volle Wirksamkeit ermöglicht. Die Bildung von organischen Stoffen unter dem Einfluss des Lichtes bewirkt nämlich gewisse Veränderungen in den oberflächlichen Zellen, und dadurch die Oeffnung von vielen kleinen Mündungen, wodurch der im Innern des Gewebes gebildete Wasserdampf entweichen kann. Der Transport des Wassers und der darin gelösten Stoffe muss ebenfalls auf irgend eine Weise durch die Wärme vermittelt werden, denn der sogenannte Frühlingssaft steigt, sobald die Lufttemperatur einen bestimmten Grad erreicht hat, ehe Licht und Verdunstung (bei noch gänzlichem Mangel an Blättern) einen Einfluss haben können.

Wenn wir das Licht und die Wärme, welche von der Pflanze aufgenommen und vernichtet werden, messen könnten, so müssten sie eine Kraftgrösse darstellen, welche der Arbeit der Pflanze gleichkommt. Die letztere verhält sich in dieser Beziehung wie eine Maschine. Sie empfängt von aussen eine gewisse Menge von Kraft, und verändert sie in ihrem Innern auf verschiedenartige Weise. Wir ziehen die Uhr auf, und das fallende Gewicht oder die gespannte Feder setzt das Uhrwerk in Bewegung; die Spannkraft des Dampfes oder das fallende Wasser treibt die Mühle. Die Kraft wird von einem Rad auf das andere, von einem Hebel auf den andern und zuletzt auf irgend ein Object übertragen; sie findet ihr Ziel in der Bewegung der Uhrzeiger, in der Drehung der Spindeln, um die sich der Faden windet, in der Drehung der Steine, zwischen denen das Korn zerdrückt und zerrieben wird, in der Drehung der Räder der Locomotive, in dem Heben des Hammers, welcher die Eisenstange schlägt. Die Arbeit der Maschine besteht nicht bloss in der Ausgabe ihrer letzten Kraft auf ihr Object, wodurch sie ihren Nutzeffect leistet; sondern auch in der Ausgabe aller übrigen Kraft, welche durch Reibung oder auf anderem Wege verloren geht. Ganz so verhält es sich mit der Pflanze. Sie empfängt Licht und Wärme; eine Partie dieser Kraftmenge verliert sie (theils unverändert, theils schon vielfach umgesetzt und in organische Substanz verwandelt) durch Verdunstung, durch Abgabe von Verbrennungswärme und durch Transport; und den Rest verwendet sie auf den Nutzeffect, auf die Bildung bleibender organischer Verbindungen.

Die Dampfmaschine verliert $^{12}/_{13}$ der ganzen Kraft, welche von dem Brennmaterial erzeugt wird, durch Reibung und durch Verwandlung von Wasser in Dampf, und verwerthet bloss $^{1}/_{13}$ als Nutzeffect. Der Baum in unserm Clima macht nicht einmal den 100sten Theil der Wärme und des Lichtes, welche er absorbirt, für die Assimilation nutzbar; viel weniger geht in einer feuchten oder weniger bewegten Atmosphäre verloren. — Das Thier nimmt die Nahrung, welche die Pflanze mit Aufwand von Wärme und Licht bereitete, zu sich. Von der ganzen Menge, welche es zur Ernährung verwendet und als assimilirte Bestandtheile des Körpers einordnet, wird der grössere Theil in den Lungen und überall im Körper verbrannt, der kleinere Theil wird beim Mastvieh als Fett angehäuft, bei der Kuh in Milch verwandelt, und beim Zugthier in Bewegung umgesetzt. Ein arbeitendes Pferd verwerthet etwa den fünften Theil des gefressenen Heues und Hafers in mechanischen Nutzeffect.

Ich habe die Pflanze, gleich einer Maschine, in ihrer Wirksamkeit als Ganzes betrachtet, somit bloss die ersten Ursachen, die von aussen kommen, und die letzten Effecte, die nach aussen gehen, mit einander verglichen. Sie erhält

Wasser und andere unorganische Stoffe, Wärme und Licht, und verwandelt diess Alles in Wasserdampf, Sauerstoff und organische Verbindungen — wie die Mühle, welcher oben Korn aufgegeben und Wasser auf die Schaufeln des Rades geleitet wird, unten Mehl liefert. Zwischen den Anfang und das Ende fallen eine Menge von Functionen, durch welche die Kräfte umgesetzt werden. Dadurch wird die Arbeit complizirter, die dazu verwendete Kraft nicht grösser. Wenn in einer Maschine 10 Räder zu gleicher Zeit und annähernd mit der gleichen Kraft sich drehen, so arbeitet dieselbe deswegen nicht mit der zehnfachen Kraft. Denn es ist die nämliche Kraftmenge, welche von dem einen Rad auf das andere übertragen wird; hält man eines auf, so stehen auch alle andern still. So ist es in der Pflanze. Mit der Aufnahme von unorganischen Stoffen und mit dem Eintritt von Wärme und Licht beginnt eine Kette von Veränderungen und Bewegungen; es sind aber immer die nämlichen Stoffe, welche sich bewegen und die nämlichen Kräfte, welche sie treiben; nur wechseln sie Form und Richtung.

Ich will nur ein Beispiel anführen. In der Bilanz des Pflanzenhaushaltes habe ich einen Posten als Transport aufgeführt, und dafür gerade so viel Kraft angerechnet, als es brauchen würde, um das Wasser in die Höhe zu pumpen oder um es in einem Gefäss bis in die Krone des Baumes zu heben. Die Pflanze giebt in Wirklichkeit eine viel grössere Kraft dafür aus. Denn sie bewegt das Wasser durch die Zellen, also durch die allerengsten Capillarräume; bei einem 80 Fuss hohen Baum müssen überdem die Wassertheilchen durch etwa 30,000 Zellwände hindurchgehen; die zu überwindenden Reibungswiderstände erfordern einen ungeheuren Kraftaufwand. Ich will hier nicht in eine Untersuchung darüber eintreten, durch welche Kräfte die Pflanze den Transport bewirke. Bis jetzt hat die Pflanzenphysiologie dieses Räthsel nicht gelöst; sie hat selbst sehr häufig das als Ursache des Saftsteigens angegeben, was sein grösstes Hemmniss ist, die Capillarität. Wenn wir im Frühjahre ein Rebschoss abschneiden oder einen Birkenstamm anbohren, so fliesst der Frühlingssaft aus. Er dient dazu, die Knospen zu entwickeln, die Aepfel- und Kirschbäume mit Blüthen, dann mit jungem Laub zu bedecken. Diese Arbeit wird vollbracht, ehe die Assimilation, die Ernährung und die Verdunstung beginnen. Es ist die Arbeit der Pflanze vor dem Frühstücke. Sie kann nicht von äussern Ursachen hergeleitet werden. Denn das Saftsteigen geschieht des Nachts wie am Tage, und entzieht sich somit der Einwirkung des Lichtes; die Verdunstung durch die Blätter und die dadurch bewirkte Zugkraft mangelt noch gänzlich; die Temperatur der Luft muss zwar einen bestimmten Grad erreicht haben, ehe die Säfte steigen, sie kann aber nicht unmittelbar die bewirkende Ursache sein. Es ist mir wahrscheinlich, dass unter dem Einfluss der äussern Wärme Substanz vernichtet und auf irgend eine noch unbekannte Weise in Bewegung umgesetzt werde. Das Material dazu liefert die Assimilation des vorhergehenden Sommers. Die Pflanze arbeitet im Frühjahre, wie das nüchterne Thier am Morgen, mit dem Kraftvorrathe, den sie früher aufgespeichert hatte.

Diess ist nun ein Beispiel, wo im Innern der Pflanze eine Arbeit mit grossem

Kraftaufwande verrichtet wird. Deshalb ändert sich aber nichts an der Bilanz des Haushaltes. Eine gewisse Menge von Licht, Wärme und unorganischen Verbindungen stellt die Einnahme dar. Der Transport, wie ich ihn als Nettowerth berechnet habe, und der Verlust an Wärme durch die Verdunstung und auf anderm Wege bilden die Ausgabe. Die organische Substanz, die als Product der verschiedenen Processe übrigbleibt, sei es, dass sie den Leib der Pflanze constituirt oder von demselben ausgeschieden und abgeworfen wird, ist gleich dem Ueberschuss der Einnahme über die Ausgabe. Der wirkliche Transport erfordert zwar nun eine viel grössere Kraftsumme als die in Rechnung gebrachte, und gewinnt dieselbe durch Vernichtung von organischer Substanz. Allein eine genau entsprechende Kraftmenge wird der Pflanze theils als Reibungswärme, theils in der Form zurückgegeben, dass die Ueberwindung der Reibungswiderstände eine dauernde Veränderung der Substanz herbeiführt.

Diese ganze Betrachtung über die Arbeit der Pflanze stützt sich auf die Annahme, dass die Kräfte hier in gleicher Weise wirken wie in der unorganischen Natur, dass eine gewisse Kraftmenge immer wieder die gleiche Kraftmenge, weder mehr noch weniger, hervorbringt. Gilt dieses Gesetz der Erhaltung der Kraft auch im Pflanzenreiche? Ich habe es vorausgesetzt, und damit zugleich die Existenz einer spezifischen Lebenskraft geläugnet.

Die Erscheinungen in der Pflanze sind vielfach anders als in der unorganischen Natur. Dort ist Leben, sagt man, hier ist Tod; und wir können das Leben nicht begreifen, wenn wir nicht eine besondere Kraft dafür annehmen. Man hat früher alles Mögliche in den Organismen durch die Lebenskraft verrichten lassen. Aber sowie die Verrichtungen selbst studirt und erkannt wurden, so zeigte sich, dass sie auf die nämliche Weise geschehen wie analoge Processe ausserhalb des Organismus. Jetzt zweifelt Niemand mehr, dass das Athmen der Thiere ein Verbrennungs- oder Oxydationsprocess, das Athmen der Pflanzen ein Zersetzungs- oder Desoxydationsprocess ist, dass die Assimilation, die Verdauung, die Circulation der Säfte aus physikalischen und chemischen Processen zusammengesetzt sind. Das Gebiet der Lebenskraft hat mit der fortschreitenden Erkenntniss mehr und mehr an Umfang verloren. Jede wissenschaftliche Forschung entreisst ihr wieder ein Stück ihrer Herrschaft. Auch ihre eifrigsten Anhänger sind am Ende ihrer Untersuchungen immer nur dahin gelangt zu sagen, welchen Theil die chemischen und physikalischen Kräfte an den Lebenserscheinungen haben, nie aber, welche bestimmte Wirkungen der Lebenskraft angehören. Sie repräsentirt immer das noch Unbekannte.

Als die Summe des Unerforschten in der organischen Natur noch gross war, schien die Wirkungsweise dieses Unerforschten einen prinzipiellen Gegensatz zu dem Bekannten zu bilden. Jetzt aber ist es durch eine Menge von Thatsachen nahe gelegt, dass die Differenz zwischen Unorganischem und Organischem in der That keine andere sei als die zwischen Einfachem und Zusammengesetztem. Manche wissenschaftliche Anhänger der Lebenskraft ziehen sich deshalb in neuerer Zeit auf ein sehr begrenztes Feld zurück. Sie soll nur an dem Bildungsprocess, an der Organisation mitwirken; die Function aber soll durch chemisch-physikalische Kräfte geschehen. Die Organisation ist gerade das dunkelste und der Forschung unzugänglichste Gebiet, weil hier Molecularkräfte immer nur in microscopisch-geringen Mengen zusammenwirken. Der directe empirische Nachweis, ob die Bewegungen der kleinsten Theilchen bei der Entstehung einer Zelle nur die nothwendige Folge von den vorhandenen physikalischen und chemischen Kräften seien oder nicht, wird vielleicht ewig unmöglich bleiben. Mit der Gestaltung eines Krystalls möchte es sich aber ebenso verhalten.

Indessen handelt es sich eigentlich nicht sowohl um die Frage, ob eine Lebenskraft existire oder nicht, sondern vielmehr, welche Eigenschaften sie habe, wenn die bekannten Naturkräfte nicht ausreichen. Es sind zwei Antworten möglich. Entweder ist es eine materielle Kraft, welche auf bestimmte gesetzmässige Art wirkt, welche aus andern Kräften entsteht und in dieselben sich umsetzt. Oder es ist eine immaterielle Kraft, die sich dem Causalnexus entzieht, die nach Willkühr in die Aktion tritt und nach Willkühr wieder daraus verschwindet. Im erstern Fall ist die Lebenskraft den physikalischen und chemischen Kräften coordinirt und mit denselben dem gleichen allgemeinen Gesetz unterworfen; sie haftet an eigenthümlichen Kohlen- und Stickstoffverbindungen, wie der Magnetismus am Eisen; sie entsteht in der Pflanze aus Licht, Wärme, Elektrizität und arbeitet an der Ernährung und Organisation. Für das Prinzip im Allgemeinen ist es natürlich gleichgültig, ob wir eine solche Lebenskraft annehmen oder nicht, ob das Leben unmittelbar aus den bekannten Naturkräften hervorgehe, oder ob in die Kette von Ursache und Wirkung noch ein Glied, eine neue Kraft eingeschoben werde. Meine Betrachtung über die Arbeit der Pflanze wird dadurch nicht modifizirt.

Wenn ich daher von einer spezifischen Lebenskraft spreche und deren Existenz bezweifle, so verstehe ich darunter eine immaterielle Kraft, welche ausserhalb der Naturnothwendigkeit und ausserhalb des Causalnexus steht. Eine Pflanze kann 1000 Samen hervorbringen; aus jedem entwickelt sich unter günstigen Umständen eine neue gleiche Pflanze. Besteht eine spezifische Lebenskraft, so ist auf einmal 1000mal mehr davon in Wirksamkeit als vorher. Oder eine Vegetation geht zu Grunde; es ist mit einem Schlage eine Menge Lebenskraft verschwunden. Wir haben ein Wunder; denn ein Wunder nennen wir es immer, wenn etwas mit den Naturgesetzen im Widerspruch steht. Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft kann aber Kraft weder neu entstehen, noch verloren gehen.

Ich muss, um nicht missverstanden zu werden, eine Bemerkung hinzufügen. Man hat Lebenskraft und geistige Kraft gewöhnlich neben einander gestellt. Wer an die Selbständigkeit des Geistes glaubte, behauptete zugleich auch diejenige einer spezifischen Lebenskraft. Die Gegner verneinten gleichzeitig beides.

Aber zwischen beiden Begriffen besteht keine nothwendige Solidarität, sodass das Eine nicht ohne das Andere sein könnte. Wenn ich keinen zwingenden Grund sehe für die Annahme einer Lebenskraft, so läugne ich damit noch nicht den Geist. Im Gegentheil scheint es mir, dass die Autonomie des Geistes um so sicherer wird, je weniger derselbe sein Schicksal an dasjenige einer so unzuverlässigen Gefährtin wie die Lebenskraft kettet.

Ich will nicht in den so vielfach unfruchtbaren Streit um Stoff und Kraft mich einlassen, in einen Streit, der von den extremen Richtungen der einen Seite mit fanatischem Zelotismus, von denen der andern Seite mit arroganter Frivolität geführt wird, — der von dem einen Extrem als der Gegensatz von Glaube und Unglaube, Moralität und Immoralität, Vernunft und Afterweisheit, von dem andern Extreme als der Gegensatz von Aufklärung und Bornirtheit, von Wissenschaft und Barbarei, von Vernunft und Aberglaube dargestellt wird. Diese Gegensätze werden von dem naturwissenschaftlichen Streitobject kaum berührt; und für den wissenschaftlichen Naturforscher reducirt sich die Meinungsverschiedenheit auf eine einfache Frage. Wenn ich dieselbe hier berühre, so geschieht es bloss um zu zeigen, dass ihre Beantwortung nicht durch die Verneinung der Lebenskraft präjudicirt sei. Sie heisst: Wie weit reicht das Gesetz der Erhaltung der Kraft?

Wenn ich die Lebenskraft läugne, so sage ich, dass die materiellen Vorgänge der Gestaltung, der Ernährung, der Fortpflanzung bei den Gewächsen durch die gleichen Kräfte bedingt werden wie die Entstehung eines Krystalls. Ich sehe in Beidem nur die nämliche Formbildung des Stofflichen. Bei der Frage über die Existenz des Geistes handelt es sich um Freiheit oder Nothwendigkeit. Der Materialismus sagt, die Freiheit des Geistes sei eine grobe Täuschung; seine Regungen seien eine nothwendige Folge von materiellen Veränderungen im Gehirn; die Gedankenwelt sei nichts Anderes als die Function der aus Fleisch und Bein bestehenden Maschine. Die Atome bewegen sich, und wie sie im Mineralreiche einen Krystall, im Pflanzenreiche ein Stärkekorn oder eine Zelle hervorbringen, so erzeugen sie im menschlichen Gehirn unter Umständen einen Gedanken. Wenn wir meinen aus freiem Willen einen Entschluss zu fassen, so irren wir; der Entschluss ist die nothwendige Function von Bewegungen kleinster Theilchen, auf die wir keinen Einfluss haben, und die eine eben so nothwendige Folge von materiellen Kräften sind, als der Stein immer zur Erde und nie in den Himmel fällt. Indem sich diese Bewegungen der Massentheilchen bewusst werden, glauben sie autonom zu sein und nach Willkühr zu verfahren. So lange wir uns besinnen, ob wir etwas thun wollen oder nicht, zu Hause bleiben oder ausgehen, so finden noch conträre Bewegungen der Atome in unserm Gehirn statt; sobald aber die einen Kräfte die Oberhand gewinnen, und die Strömungen nach einer Seite hin überwiegen, so nehmen wir Hut und Stock, und wir meinen, wir gingen freiwillig spaziren. Wenn das Stäubchen, das in der Luft herumfliegt, Bewusstsein hätte, so würde es sich in dem Wahn gefallen, es wolle gerade dahin fliegen, wohin der Wind es treibt; und wenn der Pendel und der Zeiger einer Uhr sich ihrer selbst bewusst wären, so würde der eine glauben, er schwinge hin und her, weil er es so wolle, und der andere wäre glücklich in dem Glauben, dass seine Neigung im Kreise zu gehen auf kein Hinderniss stosse. Das ist die Meinung des Materialismus über den freien Willen.

Indess gehört die Frage, ob die geistige Freiheit wirklich oder nur in unserer Einbildung existire, nicht direct vor das Forum des Naturforschers. Es war mir nur darum zu thun, zu zeigen, dass die Lebenskraft und der Geist wesentlich verschieden seien. Das Prinzip des Geistes ist die Freiheit. Von Freiheit aber, scheint es, könne doch gewiss in der Pflanze keine Rede sein. — Die Frage, ob die Freiheit eine Wahrheit oder eine Täuschung sei, gewinnt aber eine mehr naturwissenschaftliche Form in der andern Fassung: Ist der Geist das Product der bekannten Naturkräfte oder nicht? Der Materialismus sucht auf verlockende Weise durch Analogie seine Ansicht zu begründen: Die Gesetze der Chemie und Physik haben überall in der ganzen grossen Natur ihre ausschliessliche Geltung, überall herrscht Gesetzmässigkeit; warum nicht auch in jenem kleinen Organ, welches der Sitz der Seele ist, warum hier ein Wunder annehmen?

In der That, wenn damit alles Unbegreifliche aus der Welt genommen wäre, so hätte die mechanische Anschauung den Vortheil einer bis zum Ende gehenden Consequenz, und man könnte in ihr eine grosse naturphilosophische Wahrheit vermuthen. Allein das Unbegreifliche und Wunderbare bleibt uns doch. Die Unendlichkeit in der Ausdehnung und in der Theilbarkeit sowohl des Raumes als der Zeit ist eine Schranke, über die wir nicht hinwegzukommen vermögen. Wann hat die Welt angefangen? wie ist sie entstanden? Welches ist ihr Ende? Wo sind ihre Grenzen? Wo trifft die Analyse auf die letzten untheilbaren Elemente der Materie, der Kraft und der Bewegung? Das sind Fragen, die nicht bloss ungelöst, sondern die unlösbar sind, und deren Lösung selbst uns unfassbar ist. Die ewige Dauer, die unendliche Ausdehnung, die nimmer endende Theilbarkeit sind Begriffe, die nicht für unsern Verstand, nicht für unser naturwissenschaftliches Bewusstsein, sondern nur für unsern Glauben da sind.

Die Streitfrage um die Existenz des Geistes lässt sich also auch durch Analogie nicht schnell abthun; und sie muss, soweit die Naturforschung sich mit ihr beschäftigt, auf dem langsamen Wege der Induction gefördert werden. Durch das Experiment muss ermittelt werden, wo das wissenschaftlich Fassbare, das durch Wage, Maass und Zahl Bestimmbare aufhört, und wo das Unbegreifliche beginnt. Die Vitalisten oder Biologen sagen: Die grosse Scheidewand besteht zwischen der unorganischen und der organischen Natur, zwischen der leblosen und der belebten Welt. Die Spiritualisten antworten: Alles Materielle folgt demselben Gesetz, in ihm wirken unabänderlich Stoss und Zug; die Seele erhebt sich über dasselbe; die Grenze besteht zwischen Materie und Geist, zwischen Nothwendigkeit und Freiheit. Nein, erwiedert der wissenschaftliche Materialismus, alles Endliche unterliegt Einer Nothwendigkeit, und ist für das Endliche greifbar; die Welt, soweit sie unsern sinnlichen und geistigen Wahrnehmungen zugänglich ist, beugt sich vor unserer Herrschaft; die Grenze besteht nur zwischen dem Endlichen und Unendlichen. Es tönt noch eine vierte Stimme herein, die des Pantheismus, der auch in der heutigen Naturforschung seine Vertreter findet: Alles Materielle ist belebt und von göttlichem Hauche durchdrungen, Maass und Gewicht reichen so wenig aus, um die unorganische wie die organische Natur zu begreifen; bei der Bildung des Krystalls so gut wie bei der Entstehung der Pflanze und des Thieres waltet eine immaterielle Idee in selbständiger Thätigkeit, und greift ordnend ein in die Bewegungen der kleinsten Theilchen.

Man hört oft den Ausspruch, die Erledigung aller dieser Fragen sei auf dem Gebiete der Naturwissenschaft gar nicht möglich. Wenn man damit sagen will, jetzt und lange noch nicht möglich, dann ist es richtig. Aber es wäre ein Irrthum, wenn man behaupten wollte, es sei prinzipiell unmöglich. Wir haben es mit bestimmten Bewegungen materieller Theile zu thun, und die Möglichkeit kann nicht geläugnet werden, dass für den einzelnen Fall durch das Experiment bestimmt werde, ob dieselben von nothwendig wirkenden Kräften hervorgebracht werden oder nicht.

Ich habe die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung von 1 Pfd. Holz frei wird, als ein Aequivalent betrachtet für die bei dessen Bildung verbrauchten Naturkräfte. Die Richtigkeit dieser Anschauung ist noch nicht bewiesen. Es wird sich aber durch den Versuch einmal ganz genau ermitteln lassen, ob jene Wärmemenge wirklich übereinstimme mit der Quantität von Licht und von Wärme, welche die Pflanze von aussen empfing. Wenn in der Pflanze noch Lebenskräfte mitgewirkt hätten, so könnte die Verbrennungswärme nicht das Maass für die Arbeit der materiellen Kräfte sein; denn die Lebenskräfte hätten nothwendig die moleculären Bewegungen modificirt, verstärkt, geschwächt, abgelenkt, es müsste die Arbeit der Pflanze eine andere sein, als sie durch die von aussen eintretenden Kräfte gefordert wird; die Substanz müsste bei der Verbrennung entweder mehr oder auch weniger Wärme liefern. — Der thatsächliche Beweis, ob eine spezifische Lebenskraft in der Pflanze wirksam sei oder nicht, wird sich ganz bestimmt einmal führen lassen, wenn auch mit den jetzigen Hülfsmitteln der Versuch noch keine Aussicht auf Gelingen hat.

Wenn es sich aber schon rücksichtlich der materiellen Gestaltung der Pflanze bloss um Wahrscheinlichkeit, nicht um Gewissheit handelt, so ist noch viel weniger entschieden, ob das Gesetz der Erhaltung der Kraft für das Seelenleben des thierischen und menschlichen Organismus gelte. Die Frage, ob die geistigen Processe auf Bewegungen der Atome beruhen, welche mit Nothwendigkeit aus den materiellen Kräften folgen, liegt noch sehr ferne von ihrer empirischen Lösung. Was aber noch unentschieden ist, gehört in das Gebiet des Glaubens. Die naturwissenschaftliche Ueberzeugung fusst auf strengen mathematischen Beweisen; der Glaube hält sich an Wahrscheinlichkeiten und an individuelle Convenienzen. Wenn der Geist ein immaterielles Agens ist, so kann er jeden Augenblick in Wirksamkeit treten oder den Schauplatz seiner Thätigkeit verlassen, ohne dass desswegen die materiellen Kräfte einen Verlust oder einen Zuwachs erfahren. Er kann, so oft es ihm beliebt, in das Getriebe der materiellen Kräfte eingreifen, die Bewegungen der kleinsten Theile ändern, Spannkräfte auslösen und in lebendige Kraft umwandeln, oder auch letztere fixiren und in Spannkräfte bannen, — er kann die Summe der materiellen Kräfte verändern.

Wenn aber, wie der Materialismus sagt, der Geist dem Gesetz der Erhaltung der Kraft unterworfen ist, so ist auch jede geistige Thätigkeit eine Arbeit, die durch eine bestimmte Menge materieller Kraft hervorgebracht wird. Die von der Pflanze assimilirte organische Substanz verwandelt sich dann im menschlichen Leib in Geist, und da die organische Substanz ein Product der Wärme, des Lichtes, der Schwere ist, so setzen sich auch diese, mittelbar wenigstens, in geistige Bewegungen um; und die geistigen Bewegungen gehen für die materielle Welt nicht verloren, sondern verwandeln sich wieder in Wärme, Elektrizität und Schwere. Für jede geistige Thätigkeit giebt es ein bestimmtes Aequivalent von mechanischer Kraft, von Wärme, von organischer Substanz. Jede sinnliche Wahrnehmung, jede Empfindung, jeder Schluss, jede mathematische Operation, jeder Willensact verzehrt eine gewisse Menge von Fleisch, Brod, Gemüse, Wein, Bier, Kaffee; er ist gleich einer bestimmten Zahl von Wärmeeinheiten, oder einer bestimmten Menge Pferdekraft. $2 \times 2 = 4$ ist eine Arbeit, die z. B. durch $^{1}/_{1000}$ Loth Fleisch geleistet wird; die Differenzialrechnung erfordert etwas mehr als das Einmaleins; der Mollaccord etwas mehr als der Duraccord; der glatte Reim mehr als der holperige; der gute Witz mehr als der schlechte. Die Odyssee und Faust, der Zeus von Phidias und die Madonnen von Raphael, die Philosophie des Aristoteles und die physikalischen Untersuchungen Newton's sind durch Umsatz aus einem bestimmten Gewicht von Nahrung entstanden.

Es versteht sich von selbst, dass nicht alle Nahrung in geistige Kraft verwandelt werden kann; ein guter Theil geht immer in der Maschine verloren Eine Dampfmaschine giebt nur den 13. Theil der Wärme, welche sie verzehrt, als Arbeit aus. Die Maschinen sind aber ungleich; es giebt solche, in denen mehr, und solche, in denen weniger Kraft durch Reibung verzehrt wird; es kann auch andere geben, in welchen alle Kraft für Reibung verbraucht wird und die daher keinen Nutzeffect liefern. Aehnlich verhält es sich mit den menschlichen Maschinen; die einen thun die nämliche Arbeit leicht, die andern schwer, und manchen gelingt sie gar nicht. In dem einen Gehirn wird die schlechte Nahrung fast ohne Verlust in philosophische Speculation, in mathematische Formeln, in musikalische Gedanken umgewandelt, während ein anderes Gehirn durch die beste Kost nie productiv wird. Das ist die Consequenz des Materialismus. Da es sich hier nicht um Beweis, sondern um individuelle Convenienzen handelt, so will ich Ihnen selbst überlassen, den Grad der Wahrscheinlichkeit zu erwägen.

Nach der spiritualistischen Ansicht ist der Geist etwas Selbständiges, ausserhalb der Verkettung der materiellen Kräfte Stehendes; er geniesst der Freiheit, er ist nicht bloss unbegriffen, sondern auch, wie das Ewige selbst, unbegreifbar, er ist für den Naturforscher ein unerforschliches Wunder. Nach der materialistischen Ansicht dagegen besteht der Geist in materiellen Bewegungen, die nach Nothwendigkeit erfolgen; er unterliegt dem Calcül und dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft; jede Denkarbeit ist gleich einer bestimmten Quantität von Nahrung, von Wärme, Licht, Elektrizität, von mechanischer Kraft. Der Nachruf, den man einem schlechten Schriftsteller widmet: Du hättest Deine Arbeit für etwas Besseres verwenden können, ist demgemäss eine buchstäbliche Wahrheit; denn in dem verfehlten Buche liegt nach den Aequivalenten genau so viel nicht gespaltenes Holz oder nicht getragenes Wasser oder nicht gehämmertes Eisen. — Möchten Sie nicht finden, dass auch in meiner heutigen Arbeit mechanische Kraft verschwendet sei!

Rechts und Links.*

Die Verwirrung, welche Rechts und Links in der Botanik verursacht haben, und die Gründe, warum man in neuerer Zeit allgemein eine der frühern entgegengesetzte Terminologie angenommen hat, sind hinreichend erörtert. Ich will daher nur kurz den leitenden Gedanken aussprechen.

Man glaubte, man müsse die Bezeichnungen Rechts und Links nicht mit Rücksicht auf unsere Anschauung, sondern mit Rücksicht auf die Pflanze oder den Pflanzentheil bestimmen; und es ist keinem Zweifel unterworfen, dass an einem Blatt, welches Rücken- und Bauchfläche besitzt, die rechte und linke Seite naturgemäss diejenigen sind, welche den analogen Seiten des menschlichen und thierischen Körpers entsprechen. Man ist weiter gegangen und hat gesagt: Wenn ich von der geraden Strasse links abweiche, oder wenn ich mich auf der nämlichen Stelle so drehe, dass die rechte Hand nach vorn geht, oder wenn ich eine Wendeltreppe emporsteige, in welcher meine Linke der Achse zugekehrt ist, so nenne ich das immer Linksdrehung; ich muss die Begriffe für die Pflanze in gleicher Weise anwenden; ihre Organe drehen und winden rechts oder links, wie sich der Mensch dreht.

Dagegen lässt sich vorerst nichts Erhebliches einwenden, wenn auch die Naturgemässheit der Bezeichnung bloss für Organe mit hinten und vorn, rechts und links (Blätter) zugegeben werden kann, während beim Stengel schon eine ganz figürliche Anwendung an deren Stelle tritt.

Diese Uebertragung von dem Menschen auf die Pflanze ist also da möglich, wo wir Grund für die Annahme haben, dass ein Körper sich um seine Achse gedreht habe, — aber auch nur da. In allen übrigen Fällen, wo wir von Drehen und Wenden sprechen, — und es sind diess die zahlreicheren — handelt es sich nicht um Achsendrehung, sondern um eine schraubenförmige Bewegung oder um eine schraubenförmige Richtung, die wir nur bezeichnen können, wenn wir sie als Bewegung auffassen. Wenn ich in der nach gewöhnlicher botanischer Bezeichnung rechts gedrehten Wendeltreppe emporsteige, so drehe ich mich rechts; steige ich hinunter, so drehe ich mich links. Das Spiralgefäss ist rechts gewunden, insofern ich mich in dasselbe hineindenke, und die Spiralfaser von unten nach oben entstehen lasse. Nun kann aber die Spiralfaser auch von oben nach unten entstanden sein oder ihr Dasein einer schraubenförmigen Bewegung verdanken, die von oben nach unten fortschreitet; dann würde nach der botanischen Betrachtungsweise die Bewegung von der Rechten zur Linken gehen, also linkswendig sein. In der That entsteht die Mehrzahl der Gefässbündel in den Stammtheilen und alle in den Wurzeln von oben nach unten; möglicher und wahrscheinlicher Weise entsteht auch die Faser der einzelnen Gefässe in gleicher Richtung. Wir müssten also, bei abwärts gehender Bewegung in der Wendeltreppe und im Spiralgefäss, um die Bezeichnung rechtswendig auf naturgemässe Weise zu erreichen, uns auf den Kopf stellen: oder, was das Nämliche wäre, das Spiralgefäss umdrehen, damit die Bewegung, entsprechend unserer aufrechten Lage, von unten nach oben gehe. Das ist nun aber nicht naturgemäss für den Pflanzentheil, den wir betrachten, und den wir doch mit Rücksicht auf ihn selber auf naturgemässe Weise bezeichnen möchten. Das Spiralgefäss des Stengels hat mit Rücksicht auf seine Lage im Ganzen und vielleicht noch mit Rücksicht auf viele andere Beziehungen (Saftströmung etc.) ein unteres und ein oberes Ende. Wenn wir es umdrehen, so versetzen wir es in eine unnatürliche Lage. Diess ist ein Beispiel für viele; die Vergleichung von Wurzel und Stengel gibt deren noch eine Menge an die Hand. Auf die Schraube oder die schraubenförmige Bewegung kann die gewöhnliche, botanische Bezeichnung nur dann naturgemäss angewendet werden, wenn die Bewegung von unten nach oben, d. h. von der Basis nach dem Scheitel hin fortschreitet. Geht sie vom Scheitel nach der Basis, was gewiss in vielen Fällen statt hat, so ist die Bezeichnung verkehrt.

---

*) Dieser Artikel wurde veranlasst durch einige Bemerkungen in dem vorhergehenden Vortrag (S. 19 f.).

Ich habe jetzt die schraubenförmige Richtung an und für sich betrachtet. Oft ist es eine Bewegung, die von individuellen Theilen an der Oberfläche eines Cylinders ausgeführt wird. Dahin können wir die Blattstellung rechnen. Es bewegen sich zwar nicht die Blätter selber; aber sie bilden eine Schraubenlinie, die am Grunde beginnt und nach oben sich fortsetzt, indem ein Blatt nach dem andern entsteht. Wenn wir diese Spirale uns als eine Bewegung vorstellen, welche von einem einzigen Blatt, das die vordere Fläche dem Stengel zukehrt, ausgeführt würde, so müssten wir naturgemäss von Rechts- und Linkswendung sprechen, je nachdem die rechte oder linke Seite voranginge. Denken wir uns eine von Knoten zu Knoten fortschreitende Blattbildung, oder verbinden wir lediglich die Insertionen durch eine Linie, so hat jedes Blatt eine obere und eine untere Hälfte, und wir müssten naturgemäss die Spirale rechtswendig nennen, wenn die rechte Hälfte die obere ist; denn die letztere geht in aufsteigender Richtung gleichsam voran, und die von unten nach oben fortschreitende Blattspirale bewegt sich an jedem einzelnen Blatt von der Linken zur Rechten. Die jetzige botanische Terminologie braucht die umgekehrte Bezeichnung; eine rechtswendige Blattspirale ist eine solche, wo die linken Blatthälften anodisch (oben), die rechten kathodisch (unten) liegen.

Mit dieser Auseinandersetzung will ich indess gar nichts anderes beweisen, als dass die jetzige botanische Terminologie nicht, wie man gewöhnlich vorgiebt, durch eine naturgemässe Analogie gefordert werde. Sie ist für wenige Fälle wirklich natürlich, für viele willkürlich übertragen, und für manche geradezu verkehrt. Indessen bringt diess das Object selbst mit, und eine durchgreifende naturgemässe, und der Analogie mit Menschen und Thieren entsprechende Terminologie ist gar nicht möglich. Von diesem Standpunct aus wäre daher auch kein Grund, gegen den jetzigen Gebrauch zu polemisiren. Mit Rücksicht auf Terminologie müssen wir immer fester an dem Prinzip festhalten, dass selbst das Bessere nicht das Gute, und das weniger Schlechte nicht das Schlechtere verdrängen darf; sondern dass nur das Unbrauchbare ersetzt werden muss. Ein Wort ist aber unbrauchbar, wenn es schon eine anderweitige Verwendung gefunden hat, und daher zu Verwechslungen Veranlassung giebt. Man kann in dieser Beziehung zu weit gehen, und in eine lächerliche und unpractische Pedanterie verfallen. Man geht gewiss bis an die Grenze des Vernunftgemässen, wenn man z. B. fordert, dass der nämliche Gattungsname nicht für ein Thier und eine Pflanze gebraucht werden dürfe; denn sicherlich würde es keine Verwirrung geben, wenn man eine Pflanze Elephas, Vespertilio, Pavo, Psittacus, Anas, Paradisea, Testudo, Python, Salamandra, Muraena, Raja, Papilio, Vespa, Musca, Carabus, Asterias etc. etc. nennen wollte. Die Terminologie würde gewiss nichts an ansprechender Fasslichkeit und frischer Unmittelbarkeit verlieren, wenn man in verschiedenen Gebieten mit dem gleichen Namen bezeichnen wollte, was in äusserer Form und Ansehen, oder in Bau und Function oder überhaupt in irgend einer auffallenden Eigenthümlichkeit einige Analogie hat.

Indessen das ist nun allgemein angenommene Regel, welche hin und wieder Gelegenheit zu einem neuen Namen gegeben hat, und ich bin nicht Willens, die Abschaffung derselben vorzuschlagen. Allein es hiesse Mücken seihen und Elephanten verschlucken, wenn man einerseits die Strenge für Begriffsbestimmungen bis dahin treibt, dass Thier und Pflanze nicht denselben Namen tragen sollen, und anderseits gestattet, dass man in der Botanik links nennt, was Zoologie und andere Wissenschaften rechts heissen, und rechts, was dort links ist.

Eine Drehung um die Achse, eine Schrauben- oder Schneckenlinie, eine spiralige Bewegung muss überall die gleiche Bezeichnung finden; wenigstens darf nicht in den einen Naturwissenschaften die Benennung der übrigen geradezu umgekehrt werden, wenn nicht, sowie diese Wissenschaften in nähern Verkehr kommen, eine endlose Verwirrung entstehen soll. Wir gehen der Zeit entgegen, wo die Behandlung der pflanzenphysiologischen Processe mehr physikalische Form und Ausdruck gewinnen muss, und wo, wie ich hoffe, auch die Physik sich mehr mit der Pflanzenphysiologie beschäftigen wird. Unmöglich kann dann der Uebelstand fortbestehen, dass gerade für so allgemeine und fundamentale Begriffe, wie die Schraube, entgegengesetzte Benennungen das Verständniss verwirren; und es fragt sich bloss, ob die Botanik einerseits, oder die Zoologie, die Physik, die Mechanik und der gewöhnliche Sprachgebrauch anderseits ihre Terminologie ändern sollen. Wir Botaniker hätten vielleicht einiges Recht, zu verlangen, dass unser neuerer Gebrauch an die Stelle des ältern und allgemeinern gesetzt werde, wenn er durchaus naturgemäss, der andere naturwidrig wäre. Das ist nun aber, wie wir gesehen haben, nicht der Fall. Die vom menschlichen Körper hergenommene Analogie ist nur für wenige Fälle passend, für die übrigen willkürlich oder selbst naturwidrig. Anderseits hat der gewöhnliche Sprachgebrauch ebenfalls eine unbestreitbare Berechtigung, wenn derselbe Rechts und Links im Menschen als gegeben annimmt, und diese Begriffe auf jeden Gegenstand vom Standpunct des Subjects (nicht des Objects) anwendet, wenn derselbe nicht erst in der Schraube und allen übrigen Objecten ein innwohnendes Rechts und Links voraussetzt, und dann dieselben mit Rücksicht auf ihr eigenes Rechts und Links beurtheilt. Die Forderung der Botaniker, dass der Beobachter sich in den Gegenstand hineindenke, um dessen räumliche Beziehungen zu bezeichnen, während er ihn von aussen ansieht, könnte doch gewiss mit gleichem Rechte ungereimt heissen, als sie für natürlich gilt.

Ich glaube daher, dass die gesammten übrigen Wissenschaften und der Sprachgebrauch des gewöhnlichen Lebens mit grösserer Berechtigung an der allgemeinern und ältern Terminologie festhalten, als die Botanik an ihrer Neuerung, und dass wir gezwungen sind, unsere Bezeichnung von Rechts- und Linksdrehung früher oder später zu verlassen*). — In einzelnen Gebieten der Morphologie wäre das sogar ein entschiedener Vortheil für die Botanik selbst, so z. B. bei der Blattstellung. Zwar ist es, wenn wir die letztere nur für sich betrachten, gleichgültig, ob wir rechts links und links rechts nennen. Fassen wir sie aber, wie das gerade die fortschreitende Wissenschaft verlangt, als eine Beziehung zwischen Blättern und Stamm auf, und berücksichtigen wir die beiden Seiten des Blattes, und die äussere und innere Blattspur, so kommen wir mit der gewöhnlichen Bezeichnung immer in Verwirrung. Wir denken uns in den Stamm hinein und sehen die Blattspirale z. B. von der Linken zur Rechten aufsteigen; Blatt und Blattspur aber erscheinen uns von diesem Standpuncte aus verkehrt; wir müssen sie von aussen ansehen, um sie richtig zu benennen. So kommt es, dass, was wir an der Blattspirale links, wir am Blatt und der Blattspur selbst rechts heissen, und umgekehrt. In der rechtswendigen Blattfolge, die nach Rechts aufsteigt, ist die linke Seite des Blattes und der Blattspur anodisch (oben). Nach der gewöhnlichen Terminologie der Mechanik aber kommt die linke Hälfte des Blattes und der Blattspur auch in der Blattspirale links zu liegen.

---

*) Der Vorschlag, in der Botanik zur alten Linné'schen Terminologie zurückzukehren, ist nicht neu. Derselbe wurde vor einigen Jahren auch von Wichura gemacht (Flora 1852. p. 55), welcher dabei von dem Satze Kant's ausging, das Rechts- und Linksgewundensein der Spiralen sei ein Unterschied, der sich zwar in der Anschauung geben, aber durchaus nicht auf deutliche Begriffe bringen, mithin nicht verständlich machen lasse. Indessen handelt es sich nicht sowohl darum, zu zeigen, dass ganz allgemein die eine und die andere Bezeichnung vor der Vernunft ihre gleiche Berechtigung hat, — sondern dass, die eine Terminologie einmal beim Menschen angenommen, durchaus nicht naturgemäss eine analoge auch für die Pflanze sich ergiebt, und dass wir bei der Uebertragung des Begriffes mit gleichem Rechte die objective wie die subjective Bezeichnungsweise festhalten können.

Man wende mir nicht ein, dass ich mit dem Vorschlag, die Benennung von Rechts und Links wieder zu vertauschen, einer neuen Verwirrung in der Botanik das Wort rede. Wir müssen gerade aus der Verwirrung herauskommen, und eine grössere Confusion unmöglich machen. Es wirft sich dabei aber von selbst die Frage auf, ob man nicht Rechts- und Linksdrehung durch ein anderes Wort ersetzen könnte; und allerdings liessen sich die räumlichen Richtungen der Drehung und Wendung ebenso gut durch die Himmelsgegenden ausdrücken. Wenn wir von rechten und linken Schrauben sprechen, so stellen wir dieselben immer in Gedanken aufrecht vor uns hin. Wir müssen die Schrauben, um sie nach den Himmelsgegenden zu bezeichnen, ebenfalls senkrecht stellen. Eine Schraube steigt nun entweder von Süd nach Ost, Nord und West auf, oder von Süd nach West, Nord und Ost. Ebenso erfolgt eine Drehung entweder von Süd nach Ost, West und Nord, oder in umgekehrter Richtung. Wir können somit kurzweg von südöstlichen und südwestlichen Schraubenlinien, von südöstlicher und südwestlicher Drehung, Wendung etc. sprechen. Südöstlich ist die rechte Schraube des Mechanikers und die linke der Botanik, südwestlich dagegen die rechtswendige Drehung nach botanischer und die linkswendige nach gewöhnlicher Terminologie. Diese neue Bezeichnung hätte, während sie für jeden Punct der Erdoberfläche gilt, den Vorzug, dass eine südöstliche oder südwestliche Bewegung die nämliche bleibt, ob wir sie von aussen oder von innen ansehen. Ich glaube daher, dass die botanische Terminologie am leichtesten so in die gewöhnliche umgeändert oder wenigstens aus dem Widerspruche mit dem gewöhnlichen Sprachgebrauche befreit werden könnte, wenn sie, wenigstens für eine Zeit lang, Rechts- und Linksdrehung durch südöstliche und südwestliche ersetzen würde.

Es scheint nicht ganz überflüssig, über den Gebrauch der Terminologie betreffend Drehung und Wendung in einer bestimmten Richtung eine Bemerkung beizufügen. Wenigstens trifft man hin und wieder auf eine unbegreifliche Anwendung, insofern z. B. von Rechts- und Linksdrehung einer Kugel oder überhaupt eines Körpers mit gleichen Enden die Rede ist. Es leuchtet doch ein, dass hier die Richtung eine indifferente ist, weil der um seine horizontale Achse sich drehende Körper zwei Beobachtern, die ihn von Osten und von Westen ansehen, dem einen Rechts-, dem andern Linksdrehung zeigt. Nur von einem Körper, der ein unteres und oberes Ende hat, kann man sagen, dass er in einer bestimmten Richtung sich drehe. Ebenso ist eine Kreisbewegung indifferent; sie erhält erst ihre bestimmte Drehungsrichtung, wenn sie, nach der einen oder andern Seite fortschreitend, zur Schraube wird.

Wenn man von südwestlicher oder südöstlicher, rechter oder linker Drehung und Wendung spricht, so stellt man sich vor, dass der Körper aufrecht stehe, seine Basis unten, seinen Scheitel oben habe, oder dass die Bewegung in der Schraubenlinie von unten nach oben gehe. Ist der sich drehende Gegenstand auf den Kopf gestellt oder schreitet eine Schraubenlinie von oben nach unten hin fort, so wird die Richtung umgekehrt und man muss diess z. B. absteigend-südöstliche oder absteigend-rechte Drehung und Wendung nennen. Es versteht sich, dass eine absteigend-südwestliche oder linke Schraubenbewegung eine Linie erzeugt, die man, wenn keine Bewegung daran sichtbar ist, als südöstliche oder rechte bezeichnet.

Ortsbewegungen der Pflanzenzellen und ihrer Theile (Strömungen).*

Wenn wir von den Bewegungen der Atome und Molecüle absehen, so können die Ortsbewegungen, die wir sonst an Pflanzen und ihren grössern und kleinern Theilen, also an festen und flüssigen Massen wahrnehmen, in 2 Kategorien gebracht werden. Die einen finden nur einmal statt; sie führen die Massen und Theile an die Stelle und in die Lage, welche sie fortan behaupten sollen. Sie sind vorzüglich der Ausdruck des Wachsthums, häufig auch der Fortpflanzung. Junge Blätter sind oft zusammengefaltet oder zusammengerollt; sie breiten sich nachher aus, indem ihre Theile gewisse Bewegungen ausführen. Die jungen Blätter sind an den Stammspitzen gedrängt beisammen. Sie rücken mit dem Wachsthum der Stengelinternodien aus einander und verändern ihre relativen Stellungen. Der Pollenschlauch wächst durch den Griffelcanal in die Fruchtknotenhöhlung und durch den Keimmund bis zum Embryosack. Das Spermatozoon dringt in die Eizelle ein.

Eine andere Kategorie von Ortsbewegungen zeichnet sich dadurch aus, dass die Theile nicht bloss einmal einen Weg zurücklegen, sondern dass sie entweder ihre Bewegung wiederholen oder wenigstens die durchlaufene Bahn wieder zurückgehen können. Ich will diese Bewegungen, im Gegensatz zu jenen einmaligen, als wiederholte oder wiederkehrende bezeichnen. Die Blume öffnet und schliesst sich wieder; sie thut diess einmal oder mehrmals. Das Laubblatt begiebt sich jeden Abend in die Stellung des Schlafens, jeden Morgen in die Stellung des Wachens. Die Blätter der Sinnpflanze legen sich auf jeden Reiz zusammen. Die Blättchen von Desmodium gyrans sind fortwährend in alternirender Bewegung begriffen.

Zwischen den einmaligen und den wiederkehrenden Ortsbewegungen findet ausserdem kein durchgreifender Unterschied statt. Die einmaligen Bewegungen sind zwar meistens so langsam, dass sie nicht direkt, selbst von dem bewaffneten Auge, gesehen werden können, und dass sie nur aus dem Erfolge erschlossen werden. Indessen kann man in selteneren Fällen auch das Fortrücken selbst beobachten. Die wiederkehrenden Bewegungen dagegen geschehen häufig schneller, so dass man sie unmittelbar wahrnimmt. Oft aber ist ihre Langsamkeit so gross, dass sie nur durch die stattgehabte Veränderung erkannt werden. In der Pflanzenphysiologie bezeichnet man als Bewegungen gewöhnlich nur die wiederkehrenden und von den einmaligen diejenigen, welche wegen ihrer grössern Geschwindigkeit unmittelbar in die Augen fallen.

---

*) In dem Vortrage über die Bewegung im Pflanzenreiche wurden betreffend das Verhalten der Zellen und des Zelleninhaltes einige Bemerkungen gemacht, die theils neu, theils den herrschenden Ansichten entgegen sind. Diess bestimmte mich, meine bisherigen Beobachtungen über diesen Gegenstand zusammenzustellen und hier zu veröffentlichen.

Die Ortsbewegungen der Zellen und ihrer grössern Massentheile (nicht der Atome und Moleküle) sind ebenfalls einmalige oder wiederkehrende. Die einmaligen sind vorzüglich Wachsthumsbewegungen, und finden statt an Membrantheilen und ungelösten Inhaltspartieen. Dieselben führen die Theile dahin, wo sie für die Zukunft liegen bleiben, sie haben die endliche Anordnung zur Folge. Fixe Puncte der Membran wie Warzen, Fasern, Poren rücken aus einander. Das Protoplasma erfüllt die ganze Höhlung junger kleiner Zellen; es trennt sich im Innern durch Hohlräume, und zuletzt bildet es bloss ein dünnes Wandbeleg der gross gewordenen Zelle. Chlorophyllkörner und andere Inhaltstheile rücken aus einander. Andere einmalige Bewegungen finden bei der Fortpflanzung der Zellen statt. Die 2 oder 4 neuen Zellkerne (Letzteres z. B. in den Sporenmutterzellen von Anthoceros) rücken aus einander. Der Primordialschlauch faltet sich, behufs der Zellentheilung, ringförmig ein. Er trennt sich in einigen Fällen der Fortpflanzung von der Membran los und contrahirt sich, um sogleich eine neue Zelle zu bilden, oder vorher als Schwärmer die alte Membran zu verlassen. Der Inhalt wandert bei der Conjugation von einer Zelle in die andere oder in den Verbindungscanal.

Zu den wiederkehrenden Ortsbewegungen der Zellentheile gehören die Schwingungen der Wimpern an Schwärmzellen, die Expansion und Contraction der Vacuolen von Gonium und Volvox, die Strömungen des Inhaltes und das Tanzen und Glitschen kleiner, unlöslicher Inhaltspartieen.

Rotationsströmung der Characeen.

Die Rotationsströmung, obgleich seit ihrer Entdeckung im Jahre 1772 durch Corti und 1807 durch Treviranus vielfach beobachtet und beschrieben, ist doch nur mangelhaft bekannt, sodass es immer noch an der Zeit ist, die Resultate einer Untersuchung, die ich im Jahre 1849 vorzugsweise an Nitella syncarpa anstellte, mitzutheilen.

Nach der wohl ziemlich allgemeinen Annahme, die namentlich auch durch die Beobachtungen von Göppert und Cohn (Bot. Zeit. 1849, pag. 697) befestigt worden ist, fliesst in den Charenzellen ein Strom von dickflüssigem Protoplasma, welcher Alles, was in demselben eingebettet ist, mit ziemlich gleicher Geschwindigkeit fortführt, und welcher auch die im Innern befindliche Zellflüssigkeit sammt den darin schwimmenden Gebilden theilweise in eine langsamere Strömung von ungleicher Geschwindigkeit versetzt. Nach meiner Ansicht ist dadurch das Wesen der Strömung nicht ganz richtig bezeichnet.

Verfolgen wir die Zellen von Nitella syncarpa von ihren frühesten Zuständen an, so finden wir dieselben anfänglich ganz mit einem verhältnissmässig grossen Zellenkern und mit Protoplasma gefüllt. Sowie die Zelle grösser wird, treten die bei der Entwicklungsgeschichte des Inhaltes gewöhnlichen Erscheinungen auf, nämlich zuerst die Bildung von Vacuolen, dann von einer mit wässeriger Zellflüssigkeit gefüllten Höhlung, indem das Protoplasma ein sehr dickes Wandbeleg bildet. In diesem Stadium verschwindet der Zellkern. Bald fängt das Protoplasma an langsam zu rotiren; und es beginnt die Schicht von ruhenden Chlorophyllkörnern allmälig sichtbar zu werden. Während die Zelle nun sich vergrössert, nimmt das rotirende Plasmabeleg an Mächtigkeit ab. Seine Masse vermehrt sich zwar noch fortwährend, aber nicht in dem Maasse als die Oberfläche der Zelle zunimmt.

Das strömende Protoplasma ist anfänglich ziemlich homogen, nachher wird es körnig, und zuletzt werden grössere Kugeln in demselben sichtbar. Diese Kugeln sind es namentlich, welche aus der zusammenhängenden Plasmamasse heraustreten und frei in der innern Zellflüssigkeit schwimmen. Die Zunahme des Protoplasma findet nur in der ersten Hälfte der Lebensdauer statt; sie hört später auf. Dagegen dauert das Zerfallen des homogenen Protoplasma in Körner und Kugeln fort, sodass dasselbe zuletzt ganz verschwunden ist und frei schwimmende Kugeln und Körner an seine Stelle getreten sind. In dem diesem letzten Zustande vorausgehenden Stadium sieht man nicht mehr einen ununterbrochenen Plasmastrom, sondern einzelne isolirte, grössere und kleinere, auf der Wandung hingleitende Plasmamassen von verschiedener Gestalt neben jenen frei schwimmenden Körpern.

Die durch Zerfallen des Protoplasma entstehenden, in der Zellflüssigkeit schwimmenden Gebilde sind in normalen Zellen dreierlei Art: 1) die gewöhnlichen Schleimkörnchen oder Plasmakörnchen, 2) glatte und 3) stachelige Schleim- oder Plasmakügelchen. Die letztern beiden habe ich früher als Schleimbläschen beschrieben (Zeitschrift für wiss. Bot. 1847, p. 107). Göppert und Cohn nannten die einen derselben Wimperkörperchen (Bot. Zeit. 1849, p. 686). Die andern bezeichneten sie als wasserhelle Bläschen, glaubten, dieselben seien mit wässeriger Flüssigkeit gefüllt, und verwechselten sie mit wirklichen, bloss aus einer soliden Membran bestehenden Blasen, die sich abnormal in den Zellen bilden. Die glatten Plasmakügelchen, die ich als Schleimbläschen beschrieb, und die meist in so grosser Menge in den Charenzellen rotiren, bestehen, wie ich schon 1847 angegeben habe, durch und durch aus Protoplasma, nicht aus wässeriger Flüssigkeit, was namentlich auch ihre Veränderungen in Wasser darthun; und meine Ansicht über ihre Bläschennatur gründete sich nur auf die Thatsache, dass unter gewissen Umständen eine äusserste differente Schicht unterschieden werden kann.

Ausserdem kommen ausnahmsweise noch andere Protoplasmagebilde in dem strömenden Inhalte vor; und zwar die nämlichen, die man auch künstlich hervorbringen kann, indem man den normalen Inhalt durch Zerschneiden der Zelle in Wasser austreten lässt: 1) Glänzende weissliche, das Licht stark brechende Körperchen, meist stäbchenförmig und auf verschiedene Art gebogen, seltener stäbchenförmig - gerade oder biscuitförmig; dieselben liegen gewöhnlich jedes in einem zarten kugeligen oder ovalen Bläschen. Die nämlichen Formen entstehen aus den Plasmakügelchen durch Einwirkung des Wassers. 2) Aeusserst zarte, wasserhelle, kleine Bläschen von kugeliger bis länglich-ovaler Gestalt, deren Begrenzung man bloss durch die, ihrer Membran anhängenden winzigen Körnchen wahrnimmt. 3) Grössere und kleinere wasserhelle Blasen, welche ein Wimperkügelchen oder ein in der vorhin bezeichneten Weise verändertes Plasmakügelchen, seltener 2 oder gar 3 derselben einschliessen; letztere sind immer wandständig. 4) Grössere und kleinere Kugeln, welche körniges Protoplasma und wasserhelle Flüssigkeit in verschiedenen Verhältnissen, ausserdem die 3 ebengenannten abnormalen, sowie die normalen Plasmagebilde enthalten können. Es ist hier nicht der Ort, auf die Ursachen dieser Erscheinungen einzugehen; ich verweise auf eine allgemeine Erörterung über die Veränderung der gelösten und ungelösten Proteinverbindungen durch Wasser, und überhaupt durch differente Flüssigkeiten ausserhalb und innerhalb der Zelle, in den Pflanzenphysiologischen Untersuchungen Heft I. p. 9 ff.

Die allgemeinen Verhältnisse der Rotation in den Charenzellen sind bekannt. Die Strömung schlägt immer den längsten Weg in einer Zelle ein. Ist die Zelle scheibenförmig niedergedrückt, so geht sie rings um die Zelle, und die Strömungsebene schneidet die kurze Zellenachse unter einem rechten Winkel. Ist die Zelle röhrenförmig verlängert, so läuft die Strömungsebene parallel mit der Zellenachse. Alle Inhaltstheile, die zusammen einen Strom bilden, beschreiben, von aussen gesehen, genau parallele Bahnen, wie die Wassertheilchen in einem regelmässigen Kanal in gerader Richtung und ohne Wirbel dahingleiten. Ausnahmen finden nur selten statt. Bei Nitella syncarpa und andern beobachtet man zuweilen Zellen, deren Membran späterhin stellenweise sich stark verdickt und dadurch zahlreiche Warzen bildet, welche in das Lumen hineinragen. Diese Warzen sind, von der Membranfläche angesehen, rundlich, bis 18 Mik. gross; von der Seite halbrund oder länglich, geschichtet, bis 24 und 28 Mik. lang. Die an der Oberfläche strömenden Theile des Inhaltes weichen, wo sie auf eine solche vorspringende Warze treffen, rechts und links aus einander, und nähern sich wieder, wenn sie bei derselben vorbeigegangen sind. — Andere Hindernisse der regelmässigen Strömung werden zuweilen durch Anhäufungen des formlosen Inhaltes selbst, oder durch grössere Inhaltskugeln verursacht; es finden Stockungen, auch wohl Theilung der ganzen Rotation in zwei statt. Allein diese Erscheinungen sind immer abnormal und mit krankhaften Veränderungen des Inhaltes verbunden.

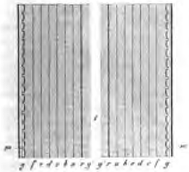
So lange der Protoplasmainhalt noch ein ununterbrochenes Wandbeleg bildet, so strömt dieses in seiner ganzen Dicke mit der nämlichen Geschwindigkeit.

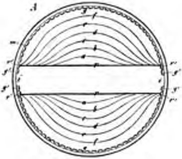
Ob die wässrige Zellflüssigkeit im Innern in Ruhe oder in Bewegung sei, lässt sich, weil dieselbe wasserhell ist, nicht entscheiden. Sobald aber sich Plasmakügelchen aus dem strömenden Wandbeleg aussondern, so dass sie in der Zellflüssigkeit frei schwimmen, so bewegen sich dieselben auffallend langsamer als der continuirliche Plasmastrom, wie diess schon von Göppert und Cohn angegeben worden ist. Wenn das Plasmabeleg später unterbrochen wird, und in einzelne mit ihrer breiten Fläche dem Chlorophyllbeleg anliegende Massen zerfällt, so zeigt jede derselben in ihrer ganzen Dicke ebenfalls die nämliche Geschwindigkeit, während sie, mit einander verglichen, sich oft ungleich verhalten, und während namentlich die freischwimmenden Plasmagebilde sich mit sehr verschiedener Schnelligkeit vorwärts bewegen. Das Verhalten dieser Letztern wird am besten in denjenigen Zellen, in denen das strömende Protoplasma ganz oder wenigstens zum grössten Theil in Körnchen und Kügelchen zerfallen ist, studirt.

Mit Ausnahme einer Flüssigkeitsschicht von bestimmter Mächtigkeit, welche als Indifferenzschicht bezeichnet wird, findet die Bewegung in allen Theilen des Lumens statt. Aber dieselbe ist um so langsamer je näher der Indifferenzschicht, um so schneller je näher der Oberfläche. Diess ist das Gesetz für die ungleiche Geschwindigkeit der freischwimmenden Gebilde in allen Charenzellen. Am leichtesten und sichersten lassen sich diese Verhältnisse in den langen röhrenförmigen Gliederzellen, und zwar an den Seitenflächen, wo die Körper gerade und bei verschiedenen Abständen von der Oberfläche gleich lange Bahnen durchlaufen, beobachten. Wenn ein an der Oberfläche liegender Körper z. B. $^1/_{10}$ Mill. in 3 Secunden zurücklegt, so braucht er in immer tieferen Flüssigkeitsschichten dazu 5, 7, 10, 15, 22 Secunden. Es findet also auf einem Radius des Querschnittes mit der Entfernung von der Oberfläche eine Abnahme der Schnelligkeit statt, bis in der Indifferenzschicht die Bewegung ganz aufhört.

In nachstehender Figur *A* ist der Querschnitt einer röhrenförmigen Zelle, in Fig. *B* ein Theil des Längsschnittes bei 30maliger Vergrösserung dargestellt. *m* Membran, *g* Chlorophyllbeleg im Profil; *g*—*g'* das Chlorophyllbeleg auf der

B





hintern Zellwand, durch einfache Schraffirung angedeutet. *i*, *i* (oder *g'*—*g'*) die beiden Indifferenzstreifen, wo das Chlorophyllbeleg mangelt. *r*—*r* Indifferenzschicht oder ruhende Flüssigkeitsschicht. *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* in Fig. *A* sind Isotachyen, d. h. Linien des Querschnittes, auf denen die Strömung mit gleicher Schnelligkeit statt hat; in Fig. *B* sieht man sie im Längsschnitt; *f* entspricht, nach *g*, der grössten, *a* der geringsten Geschwindigkeit.

Dass die Körper im Inhalte der Charenzellen eine ungleiche Geschwindigkeit besitzen, ist längst schon von andern Beobachtern wahrgenommen worden. Es wird angegeben, die grössern Kügelchen bewegen sich langsamer als die kleinen, und es wird diess mit ihrer beträchtlichern Schwere in Zusammenhang gebracht. Das ist aber unrichtig; ein grosser und ein kleiner Körper strömen mit der gleichen Geschwindigkeit, wenn sie in gleicher Entfernung von der Oberfläche sich befinden. — Göppert und Cohn glauben, dass in Nitella flexillis immer ein zusammenhängender oberflächlicher Strom von Protoplasma vorhanden sei, welcher die in ihm eingebetteten Körper mit gleicher Geschwindigkeit fortführe, und die innerhalb desselben befindliche Flüssigkeit sammt den darin schwimmenden Gebilden in eine passive, aussen schnellere, innen langsamere Bewegung versetze. Ein solcher continuirlicher Plasmastrom ist indess in den ältern Röhrenzellen der Chara- und Nitella-Arten sicher nicht mehr vorhanden. Wenn man auch der unmittelbaren Beobachtung misstrauen wollte, da das Protoplasma weicher geworden und innerhalb des grünen Wandbeleges nicht mehr von der Zellflüssigkeit zu unterscheiden sein könnte, so giebt es doch andere Beweise. Die in Protoplasma eingebetteten Körper der jüngern Zellen bewegen sich mit gleicher Schnelligkeit und drehen sich nicht um ihre Achse. In den ältern Zellen zeigen die Körper ungleiche Geschwindigkeit, wenn sie nicht genau in gleicher Entfernung von der Membran sich befinden; und man beobachtet oft sogar, dass von zwei unmittelbar an der Oberfläche befindlichen Körnern das eine das andere auf eine längere Strecke überholt. Man beobachtet ferner, dass ebenfalls die unmittelbar an der Oberfläche befindlichen Körner sich fortwährend überstürzen. Diese zwei Erscheinungen, die in den jüngern Zellen nicht vorkommen, zeigen unwiderleglich, dass die Körner nicht mehr in Protoplasma eingebettet sind, sondern in einer wässrigen Flüssigkeit frei schwimmen.

An der Oberfläche selbst ist in der ganzen Breite der beiden Strömungsseiten die Schnelligkeit in der Regel ziemlich dieselbe. In der Endzelle eines Quirlzweiges von Nitella syncarpa, die 7,5 Mill. lang und 0,135 Mill. dick war, strömten die unmittelbar an der Oberfläche befindlichen Inhaltstheile in der Mitte des Strömungsbandes mit einer Geschwindigkeit von 4,4 Secunden auf $^1/_{10}$ Mill. (bei *g* in Fig. *A* und *B*), und diese Geschwindigkeit der oberflächlichsten Strömung blieb die gleiche bis auf einen Raum von 11 Mik. vor dem Indifferenzstreifen (*g* bis vor *r'*). Am Indifferenzstreifen selbst und jederseits bis auf 8 u. 9 Mik. von demselben mangelte die Bewegung gänzlich (*r*—*r*, *r'*—*r'*). Auf dem schmalen Längsstreifen von 2 bis 3 Mik. Breite (zwischen 8 und 11 Mik. von dem Indifferenzstreifen) fand der rasche Uebergang von der grössten Geschwindigkeit bis zu vollkommener Ruhe statt (bei *r'* in Fig. *A* und *r* in Fig. *B*). Hier strömen die Inhaltstheile nicht nur langsamer, sondern namentlich auch ungleichmässig. Das nämliche Körnchen geht bald langsamer, bald schneller, bald steht es für einige Zeit ganz still. Die Bewegungen geschehen hier meistens ruckweise.

Indessen ist nicht immer die Geschwindigkeit an der ganzen Oberfläche der beiden Strömungsseiten die nämliche; sie nimmt zuweilen von der Medianlinie (*g* in Fig. *A* und *B*) nach dem Indifferenzstreifen allmälig etwas ab, und hört dann an den Rändern (*B*, *r* und *A*, *r'*) ebenfalls plötzlich auf. Dann zeigt also jeder Punct der Oberfläche eines Querschnittes durch die cylindrische Zelle (*g* bis *r* in *B* und *g* bis *r'* in *A*) eine eigenthümliche Schnelligkeit der Strömung. Diese ist zwar nicht ganz constant, bleibt aber innerhalb bestimmter Grenzen. In einer Zelle von $4\,^{1}/_{2}$ Mill. Länge und $^{1}/_{5}$ Mill. Durchmesser wurde genau in der Mitte der Strömungsseite (bei *g*) von den an der Oberfläche befindlichen, frei schwimmenden Inhaltsgebilden $^{1}/_{10}$ Mill. in 3.5, 4.5 und 6 Secunden durchlaufen. In der nämlichen Zelle wurde zu gleicher Zeit an dem Rande des Stromes und ebenfalls an der Oberfläche (nahe bei *r'* in *A*) $^{1}/_{10}$ Mill. in 9, 11, 13 und 16 Secunden zurückgelegt. In der Medianlinie war also die peripherische Strömung $2\,^{1}/_{2}$mal schneller als nahe den Rändern. — Die Inhaltspartieen, welche die eben angegebene ungleiche Geschwindigkeit an dem nämlichen Puncte zeigen, scheinen gleich nahe und zwar dicht an dem ruhenden Chlorophyllbeleg sich zu befinden. Es bleibt ungewiss, ob die Differenz der Bewegung von einem der Beobachtung nicht zugänglichen, ungleichen Abstand von der Oberfläche oder von andern Ursachen herrühre; Ersteres möchte wahrscheinlicher sein.

An dem Rande selbst (zwischen der Indifferenzschicht und dem Circulationsstrom) bewegten sich die Körnchen und Kügelchen ebenfalls mit sehr ungleicher Geschwindigkeit. Fixirte man ein einzelnes, so sah man dasselbe seinen Lauf beschleunigen, verlangsamen und zeitweise ganz stillstehen; die Beschleunigung und Verlangsamung der Bewegung fand häufiger ruckweise als allmälig statt. Ich bemerke dabei, dass die in Ruhe befindliche Indifferenzschicht der Flüssigkeit auch hier, wie immer, beträchtlich breiter war, als der farblose Indifferenzstreifen. In der ebengenannten, $^{1}/_{5}$ Mill. dicken Zelle hatte der Indifferenzstreifen (*i* oder *g'*—*g'* in Fig. *A* und *B*) eine Breite von 7 bis 9 Mik.; die Indifferenzschicht dagegen (*r*—*r*) von 28—29 Mik. Letztere war 3- bis 4mal so breit als ersterer, und bedeckte jederseits noch 2 bis 3 Reihen von Chlorophyllkörnern. An dem Umfang von 600 Mik. nahm also jede Strömungsseite 271—272 Mik. ein, oder $^{4}/_{9}$ der ganzen Peripherie, während die ruhende Flüssigkeit jederseits beinahe $^{1}/_{10}$ der Peripherie occupirte.

An dem farblosen Indifferenzstreifen befinden sich in der Regel keine Inhaltsgebilde. Den Rändern des Chlorophyllbeleges, soweit dieselben der Indifferenzschicht angehören (*g'*—*r* in *B*, *g'*—*r'* in *A*), hängen bei Nitella syncarpa meistens kleine Oeltröpfchen an. Man sieht dieselben besonders deutlich, wenn ein Indifferenzstreifen genau zugekehrt ist, und man ist anfänglich geneigt anzunehmen, dass sie in Folge ihres geringern specifischen Gewichtes sich an die

Decke der Zellen emporgehoben haben, dass selbst vielleicht ihr Anstossen an die Zellwandung die Ursache ihrer Bewegungslosigkeit sei. Indess sieht man erstlich rechts und links davon Oeltröpfchen in gleicher Weise strömen, wie Plasmagebilde; und ferner findet man neben dem abgekehrten (auf dem Grund der Zelle befindlichen) Indifferenzstreifen gleiche ruhende Oeltröpfchen auf den Rändern des Chlorophyllbeleges. Es scheint mir nicht wahrscheinlich, dass sie da, wo sie an der Wand befestigt sind, entstanden seien. Vielmehr möchte ich glauben, dass der Strom sie hergeführt und abgelagert hat. Man sieht, wie ich schon erwähnte, an der Grenze des letztern Körnchen und Oeltröpfchen, welche bald stillstehen, bald sich bewegen; ein Beweis, dass die Strömung nicht genau die nämliche Ausdehnung in die Breite innehält, sondern von einem Augenblick auf den andern vorrücken und zurückgehen kann. Grössere Schwankungen mögen in längern Zeiträumen vor sich gehen, und daher eine Zone von angeschwemmten Körpern, wie an Fluss- und Meeresufern, bilden.

Als allgemein gültig für die oberflächliche Strömung kann also ausgesagt werden, dass dieselbe an der ganzen Oberfläche der beiden Strömungsseiten die nämliche Geschwindigkeit besitzt oder nach den Rändern hin nur wenig abnimmt, und dass sie an dem Rande in einiger Entfernung vor dem Indifferenzstreifen ziemlich plötzlich aufhört.

Von jedem oberflächlichen Punct der Strömungsseiten nimmt, wie ich vorhin sagte, die Schnelligkeit der Bewegung auf seinem Radius nach der Indifferenzschicht hin ab. Eine natürliche Folge davon ist, dass alle frei schwimmenden Inhaltsgebilde sich um ihre Achse drehen; denn da ihre äussere Hälfte einer Schicht von grösserer Geschwindigkeit angehört als die innere, so muss ein Ueberstürzen erfolgen. Diess ist nun auch bei einiger Aufmerksamkeit leicht an den Wimperkügelchen und überhaupt an allen Inhaltsgebilden zu sehen, welche nicht eine kugelige Gestalt, glatte Oberfläche und homogene Substanz besitzen. In der Endzelle eines Quirlzweiges von Nitella syncarpa sah ich z. B. 14 Kugeln von 20 bis 30 Mik. Durchmesser, welche sich alle deutlich um ihre Achse drehten. Eine 20 Mik. grosse Kugel strömte abwechselnd mit der Geschwindigkeit von 16, 10 und 9 Secunden auf $\frac{1}{10}$ Mill., und drehte sich dabei 1mal um ihre Achse, beziehungsweise in $9\frac{3}{5}$, $8\frac{4}{5}$ und $9\frac{3}{5}$ Secunden. Eine 29,4 Mik. grosse Kugel durchlief $\frac{1}{10}$ Mill. in 8 Secunden und machte in $14\frac{2}{5}$ Secunden eine Drehung. Einige andere Beobachtungen sind folgende:

Durchmesser des Plasmakörpers	14 Mik.	13,5 Mik.	9 Mik.	9 Mik.	9 Mik.
$\frac{1}{10}$ Mill. wird durchlaufen in	9 Sec.	3,7 Sec.	6,7 Sec.	3,7 Sec.	2,7 Sec.
Eine Drehung erfolgt in	120 Sec.	72 Sec.	24 Sec.	24 Sec.	96 Sec.

Die sich um ihre Achse drehenden Inhaltstheile, von denen ich eben gesprochen habe, liegen ganz in dem einen oder andern Strom. Es versteht sich von selbst, dass die Drehung noch eher erfolgt, wenn die eine Seite eines Körpers in die Indifferenzschicht taucht, indess seine übrige Masse in einem Strom sich befindet, oder gar wenn grössere kugelige Inhaltsmassen zugleich von beiden entgegengesetzten Strömen bespült werden. So beobachtete ich in einer 0,45 Mill. langen und 0,083 Mill. dicken Zelle von Nitella hyalina, in welcher die oberflächliche Strömung $^1/_{10}$ Mill. in 2,1 Secunde zurücklegte und die ganze Umlaufszeit 23 Secunden betrug, eine kugelige 0,032 Mill. grosse Blase, welche zwischen beiden Strömen lag und sich in 8 bis 9 Secunden einmal um ihre Achse drehte, wobei sie bald von dem einen bald von dem andern Strome stärker erfasst und abwechselnd langsam vorwärts und rückwärts fortgezogen wurde.

Dabei beobachtete ich eine andere Thatsache, die ich mir noch nicht erklären kann. In den beiden Strömen befanden sich viele frei schwimmende Inhaltsgebilde, welche natürlich mit grösserer Schnelligkeit sich vorwärts bewegten, als die eben genannte, zum Theil in der Indifferenzschicht und in dem entgegengesetzten Strome befindliche Blase. Wenn nun ein solcher frei schwimmender Körper (Körnchen, Kügelchen oder ein formloser Fetzen von Protoplasma) die Blase einholte und auf dieselbe stiess, so retardirte er, dicht an ihrer Oberfläche angekommen, plötzlich seinen Lauf; ebenso retardirte die Blase gleichzeitig ihre Drehung. Diess dauerte nur einen Augenblick; dann trat eine beschleunigte Bewegung ein, indem die Blase mit dem nun an ihrer Oberfläche befindlichen Körper sich rascher drehte, bis dieser auf der andern Seite angelangt war. Nachher erfolgte wieder ein momentanes Retardiren oder Stillstehen von Blase und Körper, worauf letzterer mit seiner ursprünglichen Geschwindigkeit seinen Weg fortsetzte, und erstere fortfuhr, sich wie früher zu drehen. Diese Beobachtung wurde ganz in gleicher Weise öfter wiederholt. Unerklärlich ist mir dabei das zweimalige Anhalten, bei der Begegnung und bei der Trennung.

Die Protoplasmagebilde sind spezifisch schwerer als die Zellflüssigkeit, in der sie schwimmen. Sie haben daher das Bestreben, sich an dem tiefsten Punct der Zelle anzulagern, und werden von diesem Bestreben nur durch die Strömung abgehalten. Die Schwere übt aber immer auf die Bahnen, welche namentlich die grössern Inhaltsgebilde durchlaufen, einen bedeutenden Einfluss aus und ruft ganz eigenthümliche Verhältnisse hervor. Ich will bloss den Fall behandeln, dass die cylindrische Zelle horizontal liegt, wie man sie gewöhnlich unter dem Microscop vor sich hat. Bekanntlich ist dieselbe mehr oder weniger um ihre Achse gedreht. Der Strom liegt also bald seitlich, bald an der zugekehrten, bald an der abgekehrten Fläche. Er beschreibt in einer 11—18 Mill. langen Cylinderzelle 1 bis 2 Umläufe.

Um die Verhältnisse hier klar zu machen, wird es am zweckmässigsten sein, zuerst theoretisch zu betrachten, welche Erscheinungen in einfacheren Fällen erfolgen müssen. In einer kugeligen Zelle, deren Strömungszirkel senkrecht gestellt ist, werden alle beweglichen Theile des Inhaltes vermöge der Centrifugalkraft die ganze Bahn in geringern oder grössern Abständen von der Peripherie beschreiben. Diejenigen, welche in die Indifferenzschicht (hier von der Form eines horizontalen Cylinders) gelangen, werden nicht in derselben bleiben, sondern vermöge ihrer Schwere in den untern Strom fallen, und hier sich so weit senken, bis die zunehmende Schnelligkeit der Bewegung ihre Schwere überwindet und sie mit dem Strom fortführt. Hat der Strömungszirkel einer kugeligen Zelle eine horizontale und der Indifferenzcylinder eine verticale Lage, so werden ebenfalls alle beweglichen Theile, welche nicht in der ruhenden Flüssigkeit liegen, vollständige Umläufe ausführen. Die Beobachtung der kurzen Knotenzellen in den Characeen bestätigt durchaus diese Voraussetzung.

In einer nicht gedrehten cylindrischen Zelle mit abgerundeten Enden ist an der ganzen Seitenfläche die Centrifugalkraft null, weil hier die Bahnen gerade sind. Wenn dieselbe horizontal liegt, so werden daher alle strömenden Theile sich senken, wie die abgeschossene Kugel oder der geworfene Stein. Bei horizontaler Lage des Strömungszirkels und verticaler Stellung der Indifferenzschicht müssen nach und nach alle Inhaltstheile einerseits der strömenden, anderseits der ruhenden Flüssigkeit auf den Grund fallen, sodass die obere Seite des Cylinders nur Flüssigkeit, die untere nur Plasmakörper, theils in Bewegung, theils in Ruhe, enthält. Ist der Strömungszirkel senkrecht und die Indifferenzschicht horizontal, so müssen bei hinreichender Länge der Zelle alle, aus eiweissartigen Substanzen bestehenden und frei schwimmenden Gebilde nach und nach in die ruhende Flüssigkeit und von da in den unteren Strom fallen, mit welchem sie an das Ende der Zelle zurückkehren. In diesem Zellenende werden alle Inhaltstheile vorbeigehen, während keine derselben an das andere Ende hin gelangen, welches nur Flüssigkeit enthält. Die Geschwindigkeit eines jeden Körpers ändert sich in einer solchen Zelle fortwährend, denn derselbe fällt, da die Strömungsseiten horizontal liegen, fortwährend in tiefere Flüssigkeitsschichten, und zwar im obern Strome in solche, die weiter von der Oberfläche abstehen, im untern in solche, die mehr peripherisch liegen. Die Bewegung eines Körpers wird daher in dem obern Strom, mit welchem er sich von dem Zellenende entfernt, immer langsamer, bis ein Stillstand erfolgt, dann in dem untern Strom, mit dem er sich dem Ende nähert, immer schneller.

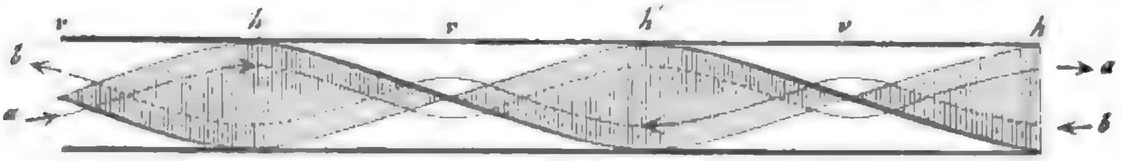
Die langen röhrenförmigen Zellen der Characeen sind nun nie ungedreht; es treten daher auch nie oder nur sehr selten die Verhältnisse, wie ich sie eben geschildert habe, rein hervor. Aber die nämlichen Wirkungen sind in den Modificationen leicht erkennbar. Wegen der Drehung der Zellen ist die Bahn der sich bewegenden Körper nie gerade, sondern immer mehr oder weniger schraubenförmig. Es macht sich daher auch bei jeder Lage der Zelle die Centrifugalkraft geltend, welche bestrebt ist, die Theile an die Oberfläche der Zelle zu führen. Indessen ist dieselbe nicht immer und nicht überall im Stande, die Wirkungen der Schwere zu überwinden. In der Regel sind es nur die in den oberflächlichsten Flüssigkeitsschichten befindlichen Theile, welche in dem gleichen geringen Abstand von der Wandung beharren, und desswegen auch fortwährend die nämliche Geschwindigkeit zeigen. In allen übrigen Schichten des obern Stromes dagegen wird, da die Drehung der Zellen nur gering ist, und daher die Richtung der Strömung von der geraden Linie nicht sehr abweicht, bei horizontaler Lage der Zelle die Centrifugalkraft von der Schwerkraft übertroffen, und es sinken die Inhaltsgebilde fortwährend in tiefere Flüssigkeitsschichten und verlangsamen desswegen ihre Bewegung. In dem untern Strom aber bemerkt man umgekehrt eine Beschleunigung.

Diese Erscheinung zeigen in manchen Charenzellen überhaupt alle grösseren Körper, indem nur die kleinern sich unmittelbar an der Oberfläche zu erhalten vermögen. In der horizontal liegenden gedrehten Röhrenzelle sieht man bekanntlich den gleichen Strom in Folge der Drehung bald links, bald oben, bald rechts, bald unten. Fixirt man einen nicht unmittelbar an der Oberfläche liegenden Körper, am besten ein grösseres Kügelchen, so verlangsamt dasselbe, sowie der acropetale (aufsteigende) Strom von der genau links-seitlichen Lage an die obere Seite der Röhre tritt, seine Bewegung, weil es, vermöge seiner Schwere, sich von der Wandung entfernt. Es geht dann immer langsamer bis der Strom an der rechten Seite der Zelle angelangt ist. Sowie derselbe nun an die untere Seite der Zelle tritt, so wird die Bewegung des Kügelchens wieder schneller, weil es, fortwährend sinkend, sich nun der Wandung nähert; und die Beschleunigung der Bewegung dauert so lange, bis der Strom wieder an der linken Seite der Zelle angelangt ist. So hat also das Kügelchen eine stetig sich ändernde, bald schneller, bald langsamer werdende Bewegung. — Da die Zellen normal südöstlich (links im Sinne der Botaniker) gedreht sind, so befindet sich das Maximum der Geschwindigkeit für solche grössere Körper des acropetalen (aufsteigenden) Stromes an denjenigen Stellen, wo derselbe genau links, das Minimum, wo er genau rechts liegt. Für den basipetalen (absteigenden) Strom hat man das Umgekehrte, nämlich Minimum an der linken und Maximum an der rechten Seite.

Um einige Beispiele zu erwähnen, so durchlief in einer Zelle von Nitella syncarpa, welche 10 Mill. lang und 0,36 Mill. dick und dabei einmal vollständig um ihre Achse gedreht war, ein 29 Mik. grosses Wimperkügelchen als Minimum der Schnelligkeit 10 Mik. in 98 Secunden und als Maximum 10 Mik. in 12½ Secunden. Im acropetalen Strom bewegte dasselbe sich an der rechten Seite fast 8mal langsamer als an der linken. Zwischen Maximum und Minimum wurde die Bewegung allmälig hier beschleunigt, dort verlangsamt, und es wurden nach einander für 1/10 Mill. Länge folgende Zeitmaasse gefunden: 12½, 15, 18, 22, 28, 36, 46, 59, 71, 81, 90, 98 Secunden. — In einer Stammzelle von Nitella syncarpa, die 12 Mill. lang und ¼ Mill. dick war, durchlief ein glattes Plasmakügelchen von 11,3 Mik. Durchmesser in dem obern (zugekehrten) Strom die unmittelbar auf einander folgenden Räume von ⅛ Mill. in 25, 19, 15, 12½, 10½, 9 und 8 Secunden; ein Wimperkügelchen ebenfalls von 11,3 Mik. Grösse in 19, 14½, 11, 8½ Secunden. In dem untern (abgekehrten) Strom der gleichen Zelle zeigte ein Plasmakügelchen von 13,5 Mik. Grösse an 5 gleichweit von einander abstehenden Stellen eine Geschwindigkeit von 7½, 9, 11, 13, 15½ Secunden auf ⅛ Mill. — Ein anderes Stammglied von Nitella syncarpa von 13,5 Mill. Länge und 0,36 Mill. Dicke zeigte an der Oberfläche eine Strömungsgeschwindigkeit von 4 Secunden auf 1/10 Mill. Ein Wimperkügelchen von 32 Mik. Durchmesser durchlief in dem obern (zugekehrten) Strom die successiven Räume von 1/10 Mill. in 9, 9.7, 10 7, 12, 13.5, 15, 17, 20, ein anderes Wimperkügelchen von gleicher

Grösse in 10, 11, 12, 13, 14.5, 16 Secunden, ein wasserhelles Bläschen von sehr geringem spezifischen Gewicht in 12, 12, 12.3, 12.3, 12.6, 13, 13.5 Secunden.

Diess ist nicht die einzige beachtenswerthe Erscheinung. Bei einiger Aufmerksamkeit beobachtet man bald, dass diese grössern Körper, an denen man eine veränderliche Schnelligkeit wahrnimmt, nicht gleichmässig über die ganze Breite der Zellen vertheilt sind; sondern dass sie da, wo in der horizontal liegenden Zelle die beiden Ströme über einander sich befinden, in dem einen Strom die rechte, in dem andern die linke Seite einnehmen. Da wo die Indifferenzschicht senkrecht steht und die beiden Ströme neben einander gesehen werden, bewegen sie sich alle, wie die verschiedenen Einstellungen des Focus zeigen, auf dem Grunde der Zelle in 2 entgegengesetzten Richtungen; sie mangeln in der obern (zugekehrten) Hälfte der Zelle gänzlich. — Nachstehende Figur giebt eine schematische Darstellung dieser Verhältnisse. Man sieht die cylindrische, horizontal liegende Röhrenzelle von oben. Die Indifferenzschicht ist schraffirt und als gedrehte Wand dargestellt; in *h*, *h'*, *h* hat sie eine horizontale, in *v*, *v*, *v* eine verticale Lage; der zugekehrte Rand ist hier stärker, der abgekehrte schwächer gehalten. *a* ist die Bahn der grössern Körper des acropetalen, *b* des basipetalen Stroms; *a* liegt in *h*, *h'*, *h* links, *b* dagegen rechts. In *h*, *h* befindet sich *a* über, *b* unter der Indifferenzschicht; in *h'* ist es umgekehrt.*) — Der Grund dieser Erscheinungen ist einfach; die grössern und langsamer strömenden Körper fallen, wo der bandförmige Strom eine verticale Lage annimmt (*v*, *v*, *v*), in den untern Theil desselben und bleiben, wenn derselbe zufolge der Drehung der Zelle horizontal wird, an derjenigen Seite, welche die untere war. Eine genauere Beobachtung zeigt aber nicht nur überhaupt, dass die grössern Inhaltskörper in dem zu- und abgekehrten Strom rechts und links liegen, und in jedem bloss ungefähr die Hälfte der Zelle einnehmen, sondern oft bemerkt man auch deutlich, dass in der Mitte nur sehr wenige derselben sich befinden, und dass sie nach dem (rechten oder linken) Rande hin an Zahl zunehmen.



Da die Zellen der Characeen normal südöstlich gedreht sind, so befinden sich in dem acropetalen Strom, da wo derselbe an der obern (dem Beobachter zugekehrten) sowie da wo er an der untern (abgekehrten) Zellseite liegt, die grössern Inhaltskörper immer links, in dem basipetalen Strom dagegen immer rechts. Durch längere Zimmerkultur erhielt ich an Nitella syncarpa hin und wieder Zellen mit südwestlicher Drehung; in denselben hatten die grössern Inhaltskörper ihre rechts- und linksseitliche Lage gewechselt; die nach dem Scheitel der Zelle strömenden befanden sich an der rechten, die nach der Basis gehenden an der linken Seite der Zellen. — Es gelten diese Regeln naturlich nur für die Stellen, wo sie sich in Folge hinreichender Drehung der Zelle wirksam machen können. Sie gelten für die ganze Länge mit Ausnahme der beiden Enden. Wenn hier die Ströme über einander liegen, so befinden sich bei normaler (südöstlicher) Drehung die grössern Inhaltskörper am Scheitel der Zelle, sowohl im obern als im untern Strom, auf der linken, in der Basis aber auf der rechten Seite der Zelle. Der Grund davon ist leicht einzusehen; im Scheitel langen sie mit dem acropetalen Strom in linksseitlicher Lage an, und behalten bei Umwendung des Stromes diese Lage bei; im Grunde der Zelle dagegen führt der basipetale Strom die grössern Körper mit rechtsseitlicher Lage herbei.

---

*) Um sich diese Verhältnisse ganz klar zu machen, thut man am besten, in eine Glasröhre einen Streifen Papier von gleicher Breite zu bringen, der an beiden Enden etwas herausragt, und hier nach Belieben gedreht wird. Dieser Streifen bildet nun eine schraubenförmige Wand, und stellt die Indifferenzschicht dar.

Bei der vorhin genannten Erscheinung gehen die grössern Plasmakörper langsamer, als die peripherische Strömung, und verändern zugleich ihre Geschwindigkeit, weil sie in der horizontal liegenden Zelle nach Maassgabe der Drehung sich bald von der Wandung entfernen, bald derselben wieder nähern. In andern Zellen, wo die Strömung langsamer, oder die Drehung und daher auch die Centrifugalkraft geringer ist, fallen die grössern Plasmakörper des obern (dem Auge des Beobachters zugekehrten) Stromes so tief, dass sie in die Indifferenzschicht gerathen, und durch diese in den untern Strom sinken. Man sieht solche Gebilde zuerst immer langsamer gehen, dann stille stehen, und nach einiger Zeit wieder sehr langsam, dann allmälig schneller, in entgegengesetzter Richtung fortrücken.

So zeigte in einem Stammglied von Nitella syncarpa in dem obern (dem Auge zugekehrten) Strom ein glattes Plasmakügelchen von 9 Mik. Grösse eine successive Geschwindigkeit von 7, 8½, 11, 15 Secunden auf ⅕ Mill., stand nachher still und kehrte dann mit dem untern Strom zurück. In der nämlichen Zelle durchlief ein 11½ Mik. grosses Kügelchen, nachdem es in den untern Strom gefallen war, die auf einander folgenden Räume von ½ Mill. Länge in 19, 14, 9, 7, 5½, 4½ Secunden. Ein Wimperkügelchen von 10 Mik. Durchmesser hatte in dem obern Strom eine Geschwindigkeit von 13, 15, 18, 22 Secunden für die auf einander folgenden Längen von ⅓ Mill., dann stand es 11 Secunden lang still, während welcher Zeit es durch die Indifferenzschicht in den untern Strom sank, und durchlief nun in umgekehrter Richtung die auf einander folgenden Räume von ½ Mill. in 23, 17, 13, 9 Secunden. Diese Erscheinung, dass in grössern Charenzellen Inhaltskörper aus dem obern Strom in den untern fallen, kommt sehr häufig vor, und kann fast als allgemein angegeben werden. Die frühere entgegengesetzte Behauptung*) lässt sich wohl nur dadurch erklären, dass zwischen den vor dem Beobachter neben einander liegenden Strömen ein Uebertritt nicht stattfindet, und die über einander verlaufenden Ströme keiner genauern Beobachtung unterworfen wurden.

---

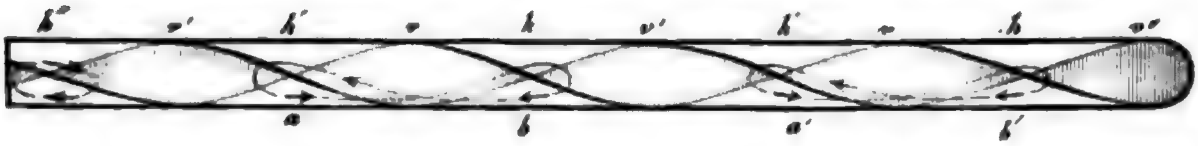
*) »Als Gesetz kann man annehmen, dass bei den Charen die Partikelchen des einen Stromes nie in die Masse des entgegengesetzt verlaufenden Stromes unmittelbar übertreten, sondern stets bis zu den Enden der Zellen verlaufen und daselbst umdrehen.« Meyen Pflanzenphysiologie II, 215. Dieser Ausspruch wurde von Andern wiederholt.

Aus der Thatsache, dass die grössern Inhaltskörper aus dem obern in den untern Strom fallen, folgt die fernere Thatsache, dass dieselben nicht den ganzen Umlauf um die Zelle machen und dessnahen auch nicht gleichmässig in derselben vertheilt sind. In jeder einzelnen Zelle ist aber die Erscheinung eigenthümlich modificirt, je nach der Art der relativen, durch die Drehung gegebenen Lage der Ströme. In einer Zelle z. B., die eine Vierteldrehung macht, und in welcher bei horizontaler Lage an dem einen Ende die beiden Ströme genau neben einander, an dem andern so über einander liegen, dass der obere nach diesem Ende hin geht, findet man immer an dem letztern Ende nur wenige oder auch gar keine grössern Körper. Sie nehmen von da bis zur Mitte an Zahl zu, und behalten dieses Maximum auf allen Punkten der andern Hälfte der Zelle. Denn viele machen bloss den halben Umlauf, und andere gehen mehr oder weniger weiter. — Bewegt sich aber in einer sonst ganz gleich sich verhaltenden Zelle von den beiden über einander liegenden Strömen der obere von dem Zellende weg, so trifft man an diesem Ende die grösste Menge der Körper, indem alle hier vorbeigehen, während keine oder wenige in dasjenige Ende kommen, wo die beiden Ströme neben einander liegen. — In den beiden genannten Zellen gehen also alle Plasmakörper der Zelle an dem einen Ende vorüber: es strömen aber die grössern nur bis auf eine gewisse Entfernung von demselben weg, und die grössten bleiben oft in dessen Nähe gebannt, indem sie nach kurzer Fahrt mit dem obern Strome sofort immer wieder in den untern fallen und darin zurückkehren. Horizontale, röhrenförmige Zellen, die nicht gedreht sind, und in denen die Ströme über einander liegen, verhalten sich ganz ebenso.

Was längere und stärker gedrehte Zellen betrifft, so wiederholen sich an den Enden derselben die eben beschriebenen Erscheinungen. Es mögen die Ströme daselbst neben oder über einander liegen, so langen wenige oder keine der grössern Körper an dem Ende der Zellen selbst an, wenn die nach demselben hinlaufende Strömung an der obern (dem Beobachter zugekehrten) Seite der Zellen liegt. Es gehen dagegen, wenn diese Strömung an der untern Zellenseite befindlich ist, viele der grössern Körper an dem Ende vorbei, und beschreiben hier einen kleinen partiellen Umlauf, indem sie nicht weit sich entfernen, um immer wieder zurückzukehren.

Solche partielle Umläufe beobachtet man aber noch an einer oder an mehreren Stellen der langen stärker gedrehten Zelle. Ueberall, wo zwei Ströme über einander liegen, fallen die grössern Körper aus dem obern in den untern Strom, gehen mit diesem zurück bis da, wo er in Folge der Drehung der obere geworden ist, um wieder in den erstern, hier untern Strom zu fallen. Es scheidet sich dadurch die Zelle in ideale Glieder, von denen abwechselnd das eine keine oder sehr wenige der grössern Körper zeigt, während in dem andern dieselben eine partielle Rotation ausführen. Die Knoten dieser Glieder sind die Stellen, wo die beiden Ströme über einander liegen. Die Glieder ohne grössere Inhaltskörper sind diejenigen, nach denen die obern Ströme der beiden angrenzenden Knoten convergiren, die Glieder mit partieller Rotation dagegen diejenigen, von denen die obern Ströme der anliegenden Knoten sich abwenden.

Nachstehende schematische Figur zeigt eine horizontale, röhrenförmige Zelle,



von der Seite (nicht von oben) angesehen. Die Indifferenzschicht ist als schraffirte Wand dargestellt, sie macht fast 2¼ Umläufe, und hat in *h*, *h'* und *h''* eine horizontale, in *v*, *v'* und *v''* eine verticale Lage. *a*—*b* und *a'*—*b'* sind 2 partielle Rotationssysteme von grössern Körpern. Der acropetale Strom *a* und *a'* liegt in *v* hinter, der basipetale Strom *b* und *b'* vor der senkrecht stehenden Indifferenzschicht. Die Körper fallen in *h'* aus dem basipetalen in den acropetalen, in *h* aus dem acropetalen wieder in den basipetalen Strom. *v'* sind Stellen, wo die Indifferenzschicht senkrecht steht und wo keine grössern Körper vorbeigehen; auch an dem Ende *v''* mangeln dieselben gänzlich. In dem andern Ende bei *h''* befindet sich dagegen eine kleine partielle Rotation von grössern Körpern.

Ich habe früher gesagt, dass die grössern Plasmagebilde, wenn sie den ganzen Umlauf um die Zelle machen, da, wo die Indifferenzschicht horizontal und die beiden Ströme über einander liegen, nicht in der ganzen Breite der Zelle gefunden werden, sondern dass in der auf normale Art südöstlich gedrehten Zelle der acropetale Strom dieselben immer links, der basipetale dagegen rechts zeigt. Die gleiche Ursache wirkt auch bei den eben erwähnten partiellen Rotationssystemen. Dieselben haben, wenn man die horizontal liegende Zelle von oben ansieht, alle eine schiefe Stellung; ihr nach der Basis der Zelle gerichtetes Ende, wo die Körper aus dem basipetalen Strom in den acropetalen sinken, liegt auf der rechten Seite, das nach dem Scheitel gekehrte Ende, wo die Körper aus dem acropetalen in den basipetalen Strom fallen, auf der linken Seite der Zelle.

Wie ich wiederholt sagte, sind es die grössern Inhaltskörper, an denen man das Hinabsinken in den untern Strom beobachtet. Es ist diess aus zwei Gründen begreiflich. Erstlich ist bei gleicher Dichtigkeit an grössern Körpern der Inhalt im Verhältniss zur Oberfläche beträchtlicher, als an kleinern, also die Schwere verhältnissmässig beträchtlicher als der Reibungswiderstand der Zellflüssigkeit; jene nimmt mit der dritten, dieser mit der zweiten Potenz des Durchmessers zu. Ferner kann ein grösserer Körper, auch wenn er dicht an der Oberfläche sich befindet, nie die grösste Geschwindigkeit eines kleineren erreichen, weil nur seine äussere Partie mit der gleichen Kraft, seine innere Partie aber mit einer geringern Kraft bewegt wird, als die ganze Masse des kleinern. Daher wird die Centrifugalkraft dem Sinken des grössern Körpers einen geringern Widerstand entgegensetzen, als dem des kleinern. Man kann oft sehr deutlich sehen, dass von mehrern Körpern immer die grössern zuerst in den untern Strom fallen, und dass daher ihre Umlaufsbahnen kleiner sind, als diejenigen der kleinern Körper. In der Endzelle eines Quirlzweiges von Nitella syncarpa befanden sich 17 Kugeln; die kleinsten hatten einen Durchmesser von 23—27 Mik., die grösste von 43 Mik. Alle blieben in dem Scheitelende der Zelle und zwar auf der linken Seite derselben, indem sie in geringer Entfernung vom Scheitel immer wieder aus dem basipetalen in den acropetalen Strom sanken. Die grösste Kugel entfernte sich bald bis auf 0,13, bald bis auf 0,23 Mill., die kleinsten bis auf 0,52 und 0,62 Mill. vom Scheitel, die mittlern auf mittlere Entfernungen. Der ganze Rotationscyclus der 17 Kugeln betrug demnach von 0,45 und 0,63 bis 1,2 und 1,4 Mill. und zwar zeigte sich derselbe für jede Kugel um so kleiner, je grösser sie war.

Aus den bisher mitgetheilten Thatsachen geht unzweifelhaft hervor, dass die bewegende Ursache in der Wandung der Charenzellen und nicht in den sich bewegenden Inhaltstheilen ihren Sitz hat. Ich habe vor langer Zeit zuerst darauf hingewiesen, dass die eiweissartigen Verbindungen eine besondere Beziehung zu den Bewegungen in der Pflanzenzelle besitzen; und man scheint jetzt ziemlich allgemein geneigt, dieselben als eine dem Protoplasma eigenthümliche Erscheinung aufzufassen. Wurde ja letzteres selbst mit der thierischen Sarcode parallelisirt. Ohne hier unbedingt beizustimmen, möchte ich doch auch nicht unbedingt widersprechen. Aber wir dürfen von den fadenartigen Strömungen, wo uns die Bewegung des Protoplasma als selbstständig erscheint (von dem Beweise sind wir freilich noch weit entfernt), nicht einen Schluss auf die Rotation in den Charen machen. Wir dürfen nicht aus der unvollständiger erkannten und dunkleren Erscheinung die offener daliegende beurtheilen und erklären wollen. Dass in den Charenzellen die strömenden Protoplasmagebilde sich nicht selbstständig bewegen, ergibt sich aus dem Umstande, dass ihre schnellere oder langsamere Bewegung lediglich durch die Entfernung von der Wandung bedingt wird, und dass sie bei einem Abstande, wo die Wirkung der Wandung aufhört, zur Ruhe gelangen. Ein zweiter Beweis, dass die Bewegungsursache nicht in dem strömenden Protoplasma ihren Sitz hat, ergibt sich aus der fernern Thatsache, dass frei schwimmende Fetttröpfchen sich vollkommen gleich verhalten wie die Plasmakörner. An der Oberfläche strömen sie mit der gleichen Schnelligkeit wie diese; sie zeigen namentlich auch an der Grenze zwischen der oberflächlichen Strömung und der Indifferenzschicht jene bald retardirte, bald beschleunigte, unregelmässige und ruckweise Bewegung wie die Plasmagebilde. Beides gestattet nicht etwa die Erklärung, dass die letzteren durch ihre Bewegung die Zellflüssigkeit in Strömung versetzen, und dass diese die Fetttröpfchen mechanisch mit sich fortführen.

Wenn es nun sicher ist, dass die bewegende Kraft ihren Sitz in der Wandung hat, so ist eine zweite Frage, ob dieselbe nur auf die ungelösten Inhaltspartieen oder auch in gleicher Weise auf die Zellflüssigkeit selbst wirke. Diese Frage kann natürlich nicht durch directe Beobachtung entschieden werden, weil die Bewegung einer in einer Röhre eingeschlossenen und dieselbe erfüllenden

Flüssigkeit nur aus den suspendirten, festen Theilchen sich erschliessen lässt. — Zum Voraus ist sicher, dass der wässerige Zellsaft nicht in Ruhe sich befindet; denn wenn er auch nicht unmittelbar von der Bewegungsursache affizirt werden sollte, so müsste er doch jedenfalls von den strömenden festen Theilchen ebenfalls in strömende Bewegung versetzt werden. Wir haben also zwei Möglichkeiten. Entweder wirkt die bewegende Kraft der Wandung in gleicher Weise auf die Wassertheilchen und die gelösten Stoffe, wie auf die in denselben schwimmenden Substanzen, dann haben alle annähernd dieselbe Geschwindigkeit bei gleichem Abstand von der Oberfläche. Oder die Flüssigkeit wird bloss von den festen Substanzen mit fortgezogen, dann muss sie bei gleichem Abstand von der Oberfläche immer langsamer strömen, als die sie bewegenden Körper. Ich glaube nicht, dass diese Frage jetzt schon mit Sicherheit sich entscheiden lässt, obgleich ich das Erstere für viel wahrscheinlicher halte. Wenn das Wasser nicht von der bewegenden Kraft affizirt würde, so liesse sich das nur durch die chemische Beschaffenheit erklären, und es wäre sogleich plausibel, wenn überhaupt etwa nur eiweissartige Stoffe die Reaction unmittelbar empfänden. Da aber, wie ich vorhin zeigte, die Fetttröpfchen in dieser Beziehung sich wie die Plasmagebilde verhalten, so ist nicht denkbar, dass die chemische Verschiedenheit mehr als einen relativen Unterschied bedinge; sondern es muss vielmehr angenommen werden, dass die Bewegungsursache auf alle Verbindungen wirke, nur etwa mit ungleicher Stärke.

Die bewegende Kraft der Wandung hat ihren Sitz nicht in der Zellmembran, sondern in der ruhenden Wandschicht des Inhaltes (Primordialschlauch und anhängendem Protoplasma). Denn wenn in einer Zelle der Primordialschlauch durch schwache Zuckerlösung contrahirt und von der Zellmembran abgelöst wird, so dauert die Strömung fort, aber sie wird etwas langsamer. Ich habe im Herbst 1849 eine grössere Reihe von Beobachtungen und Messungen über die Strömung in solchen durch Diosmose veränderten Zellen von Nitella syncarpa und N. hyalina gemacht. Allein die Unregelmässigkeit der Gestalt, in welcher die contrahirten Primordialschläuche immer auftreten, erlaubte schliesslich nicht, den Modificationen, welche die Strömung erfährt, einen genauen mathematischen Ausdruck zu geben. Ich kann bloss im Allgemeinen Folgendes aussagen: Wenn der Primordialschlauch sich von der Zellmembran losgelöst hat, was an den Quirlzweigen in der Regel am Scheitel beginnt und dann häufig zunächst an der äussern Seite sich fortsetzt, so ist die Strömung merklich langsamer geworden. Indessen ist die Verlangsamung sehr ungleich, bald gering, bald beträchtlich. Es gibt Zellen, wo die oberflächliche Strömung von 3 Secunden für $^1/_{10}$ Mill. bloss auf 4, andere, wo sie von 3 Secunden auf 14 sich verlangsamt. Diess ist indess begreiflich, da die Zellen ungleich grosse Mengen von festem Inhalt und ungleich geformte Inhaltstheile einschliessen, und da die Wirkung der Exosmose darin besteht, das Lumen der Primordialschläuche beträchtlich zu verkleinern und ihre Gestalt und Oberfläche zu verändern. Die Strömungshemmungen müssen sich daher in den verschiedenen Zellen in sehr ungleichem

Maasse steigern. — Eine andere Folge der Verengerung der Zellhöhlung ist die, dass ein Theil des strömenden Inhaltes zur Ruhe gelangt. Dabei theilt sich der ganze Umlauf zuweilen in 2 oder 3 Rotationen. Je länger die Wirkung der Exosmose fortdauert, in desto geringerer Zahl und desto langsamerer Bewegung findet man die frei schwimmenden, strömenden Plasmagebilde. Die übrigen sind mit der ruhenden Wandschicht zusammengeflossen. Zuletzt hört die Bewegung ganz auf. — Wenn in einem frühern Stadium, nachdem die Exosmose den contrahirten Primordialschlauch zwar ganz freigelegt, aber noch nicht zu grosse Veränderungen in der Formbildung des strömenden Inhaltes verursacht hat, die Zelle von neuem in Wasser gebracht wird, so dehnt sich der Primordialschlauch wieder aus, legt sich an die Zellmembran an, und der Inhalt zeigt oft wieder ganz die nämlichen Strömungsverhältnisse, auch die gleiche Geschwindigkeit, wie ursprünglich.

Wie wirkt die bewegende Kraft der Wandung? Es ist diess eine Frage, die sich bloss andeuten, nicht beantworten lässt. Es gibt von vornherein zwei Möglichkeiten; entweder sie wirkt (sei es durch Zug, sei es durch Stoss) bloss in der Richtung der Tangente, oder zugleich auch (durch Attraction) in der Richtung des Radius. Im ersteren Falle wäre es allein die Centrifugalkraft, welche die Plasmagebilde an der Decke einer liegenden Zelle erhielte und sie verhinderte, dem Zuge der Schwerkraft zu folgen. Im zweiten Falle würde die Wandung nicht bloss in der Richtung des Stromes bewegend wirken, sondern auch den Inhalt anziehen, und zwar das Protoplasma und die Inhaltskörper mehr als die Zellflüssigkeit. Die ziehende Kraft würde somit nicht in der Richtung der Tangente, sondern im Sinne einer resultirenden unter irgend einem spitzen Winkel gegen die Oberfläche wirksam sein. Es muss schon die genaue Kenntniss der Bewegung hinreichen, um diese Frage zu lösen. Aus der Schnelligkeit der Bewegung, aus dem Krümmungshalbmesser derselben (der wegen der Drehung der röhrenförmigen Zellen nie unendlich gross werden kann) und aus der Geschwindigkeit, mit welcher sich ein frei schwimmender Körper von der Wandung entfernt oder derselben nähert, muss sich ergeben, ob die Centrifugalkraft ausreicht, oder ob noch eine Attraction der Wandung hinzukommen muss. Meine Messungen und Berechnungen machen das Erstere wahrscheinlich, doch fehlt ihnen noch die hinreichende Genauigkeit, um den Satz mit voller Bestimmtheit aussprechen zu können.

Es bieten sich überhaupt noch verschiedene mechanische Probleme, betreffend die Bewegung in den Charenzellen, dar, die aber alle mit den nämlichen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, nämlich mit der Schwierigkeit, die Entfernung eines Körpers von der Membran (auf seinem Radius gemessen), sein spezifisches Gewicht und die Dichtigkeit der Zellflüssigkeit zu bestimmen.

Welches ist die Natur der bewegenden Kraft? Diese Frage liegt unserer Einsicht noch ferner, als die nach deren Wirkungsweise, wenn auch über die Reaction verschiedener Agentien manche schätzenswerthe Thatsache bekannt ist. Die Zelle aber ist ein so complicirter Organismus, dass es immer zweifelhaft bleibt, in welcher Weise das Agens auf die bewegende Kraft vermittelt wurde.

Es ist bekannt, dass die Rotation in der Kälte langsamer, in der Wärme schneller wird. Dutrochet fand bei Nitella flexilis, dass die Beschleunigung nur bis zu 27° C. gehe; eine höhere Temperatur retardire die Bewegung, doch erhole sie sich nach und nach wieder zur gewöhnlichen Schnelligkeit. In einem Wasser von 45° C. werden die Pflanzen augenblicklich getödtet. Das Nämliche bewirke eine Kälte von — 2 bis — 5° C., wie schon Corti beobachtete.

Um bezügliche Beobachtungen anstellen zu können, liess ich mir eine Vorrichtung machen, welche es ermöglichte, auf die gleiche Charenzelle unter dem Microscop beliebige Temperaturgrade einwirken zu lassen. Ich theile eine dieser Beobachtungsreihen mit. Die Endzelle eines Blattes von Nitella syncarpa zeigte bei 10° C. eine Schnelligkeit von 8 Secunden auf $^1/_{10}$ Mill. Die Temperatur wurde plötzlich auf 1$^1/_4$° und dann allmälig auf 0 ermässigt. Bei 1$^1/_4$° wurde der Raum von $^1/_{10}$ Mill. von der oberflächlichen Strömung in 53, bei 1° in 62, bei $^3/_4$° in 83 Secunden durchlaufen. Gegen 0 stand die Bewegung ganz still. Als nun die Temperatur allmälig gesteigert wurde, so ergaben sich folgende Messungen: $^1/_{10}$ Mill. wurde von den an der Oberfläche befindlichen Inhaltsgebilden durchlaufen: bei 1° in 60, bei 2° in 47, bei 3$^1/_2$° in 33, bei 5° in 24, bei 6° in 19, bei 7° in 15, bei 8° in 11,5, bei 9° in 9,5, bei 10° in 8, bei 11° in 7, bei 12° in 6,4, bei 14° in 5,4, bei 15° in 5, bei 16° in 4,6, bei 17° in 4,3, bei 18° in 4, bei 19° in 3,8, bei 20° in 3,6, bei 22° in 3,2, bei 24° in 2,8, bei 26° in 2,4, bei 28° in 2, bei 31° in 1,5, bei 34° in 1, bei 37° in 0,6 Secunden. Sowie die Temperatur etwas höher stieg, hörte die Bewegung plötzlich auf. Als sie wieder sank, so begann die Rotation erst langsam, wurde aber immer schneller und erreichte bald die, der nunmehrigen Temperatur zukommende Geschwindigkeit. Die mitgetheilten Zahlen sind Durchschnittswerthe aus mehreren Messungen. Sie sollen bloss im Allgemeinen ein Bild der Zunahme der Geschwindigkeit bei Steigerung der Temperatur geben, und machen durchaus nicht Anspruch darauf, eine mathematisch richtige Progression darzustellen. Wenn auch die Schwierigkeit der genauen Messung besonders bei schneller Rotation nicht in Anschlag gebracht wird, so ist es doch beinahe unmöglich, jedesmal Inhaltskörper zu beobachten, welche genau die gleiche Entfernung von der Oberfläche zeigen. Wird aber die Bewegung eines Korns gemessen, das nur wenig tiefer liegt, als ein früher beobachtetes, so kann die höhere Temperatur leicht eine langsamere Bewegung, als die frühere niedrigere Temperatur ergeben. Ich unterlasse es daher, andere Messungen mitzutheilen. Es wäre ohne Zweifel von Wichtigkeit, wenn das Verhältniss der Geschwindigkeitszunahme für jeden Grad Temperaturerhöhung festgestellt werden könnte. Im Allgemeinen lässt sich jetzt schon aussagen, dass von $^1/_2$ bis zu 37° die Zunahme der Geschwindigkeit für jeden folgenden Grad einen kleinern Werth darstellt. Aber es ist mir noch zweifelhaft, ob es möglich sei, die hinreichend genauen Daten für die Feststellung der mathematischen Progression zu erhalten.

Die Wärme kann auf verschiedene Weise zur Beschleunigung einer Bewegung wirken. In den Charenzellen geschieht es ohne Zweifel so, dass durch sie der

Lebensprocess gesteigert wird. Nun ist bekannt, dass mit Erhöhung der Temperatur bis auf einen gewissen Punct die verschiedenen pflanzlichen Verrichtungen lebhafter von statten gehen. Es ergibt sich daher die weitere Frage, welches die Processe in der Pflanze sind, durch deren Steigerung die Rotation beschleunigt wird. Zur Beleuchtung dieser Frage kann das Verhalten des Lichtes einen Anhaltspunct geben. Alle chemischen Veränderungen in der Pflanze lassen sich in zwei natürliche Gruppen scheiden, in eine auf- und eine absteigende Reihe; jene, die man auch die oxydirende nennen kann, erzeugt die organischen aus den unorganischen Stoffen und bildet sie zu complicirteren Verbindungen um; sie hat, wenigstens für die eigentlichen Desoxydationsprocesse, die Einwirkung des Lichtes nöthig. Die absteigende Reihe die man auch als die desoxydirende bezeichnen kann, die mit der Rückbildung der complicirten organischen Verbindungen beginnt und mit der gänzlichen Zersetzung endigt, geht in vollständiger Dunkelheit wie im Lichte vor sich.

Ueber den Einfluss des Lichtes sind die verschiedensten Ansichten ausgesprochen worden. Nach Dutrochet ist derselbe für die Circulation unumgänglich nöthig; indess Meyen behauptet, er »habe Charenpflanzen mehrere Monate lang in einem dunkeln Raume genau bedeckt stehen lassen, aber bei einer Temperatur von 7—8° R. noch immer ebenso lebhafte Bewegungen bemerkt, als eben dieselben Pflanzen im Sommer und bei einer höhern Temperatur zeigten.« Letzteres erscheint mir unmöglich, und ich stimme mit Dutrochet überein, dass in Charen, welche längere Zeit an einem finstern Orte gehalten werden, die Circulation langsamer wird und zuletzt ganz aufhört. Diess geschieht, weil unter solchen Verhältnissen die Pflanze leidet und abstirbt; es beweist aber durchaus nicht, dass die Bewegung unter dem Einfluss des Lichtes stehe.

Man überzeugt sich leicht davon, dass die Bewegung an einer vegetirenden Pflanze in der Dunkelheit vor sich geht wie im Licht. Am besten bringt man ein Präparat unter das Microscop und wartet so lange, bis in der vorliegenden Zelle die Bewegung ihre, der herrschenden Temperatur entsprechende Geschwindigkeit erlangt hat. Dann bedeckt man das Microscop mit einem dunkeln Kasten, lässt es während $^1/_4$, $^1/_2$ oder einer Stunde bedeckt, und beobachtet dann in dem Moment, in welchem man den Kasten wegnimmt, die Rotation. Oder man lässt ein am Tage gemachtes Präparat bei Eintritt der Nacht unter dem Microscop, und untersucht, nachdem dasselbe einige Stunden im dunkeln Zimmer gestanden hat, die Bewegung bei Lampenbeleuchtung. Solche Untersuchungen zeigen, dass die Geschwindigkeit mit und ohne Licht die nämliche ist, und dass dasselbe somit keinen directen Einfluss auf die Circulation ausübt.

Indessen ist es eine häufig zu beobachtende Erscheinung, dass ein eben angefertigtes Präparat unter dem Microscop, wo es nun auch einer stärkern Beleuchtung ausgesetzt ist, eine Zeit lang seine Rotationsbewegung beschleunigt, und dann die erlangte Schnelligkeit beibehält; ferner dass ein schon länger bei diffusem Licht unter dem Microscop befindliches Präparat, auf das man directes Sonnenlicht einwirken lässt, ebenfalls seine Rotationsgeschwindigkeit steigert. Man darf hier aber nicht dem ersten Eindruck folgen, und die Beschleunigung für eine Folge des Lichteinflusses halten. Sie lässt sich ebensowohl erklären durch eine Erwärmung, welche die dünne Wasserschicht des frischen Präparates gewöhnlich durch die Lufttemperatur, und das ältere Präparat durch die Sonnenstrahlen erfährt. Dass die calorischen Strahlen des Lichtes wie die Wärmestrahlen selbst wirken, ist begreiflich. Ob die chemischen Strahlen des Lichtes ebenfalls einen Einfluss ausüben, bleibt dagegen zweifelhaft; jedenfalls kann er nicht bedeutend sein.

Es schien mir besonders wichtig, auszumitteln, ob die chemische Thätigkeit des Lichtes, welche sich in der Aushauchung von Sauerstoffgas kundgibt, in irgend einer Beziehung zur Circulationsbewegung stehe. Es wurden erstlich zu wiederholten Malen gleichzeitig mehrere Präparate von Nitella syncarpa angefertigt, und die Strömungsgeschwindigkeit beobachtet; dann die einen unter dem Einflusse des Lichtes gelassen, die andern beschattet. An den erstern zeigte sich oft Ausscheidung von Sauerstoff. Aber ob eine Zelle keinen Sauerstoff aushauchte, ob sie davon wenig oder viel austreten liess; die Schnelligkeit der Rotation wurde dadurch nicht geändert. — Es wurden ferner gleichzeitig von der nämlichen Pflanze mehrere Zellen, die einen in fettes Oel, die andern in Wasser gelegt. Bei jenen unterblieb die Ausscheidung von Gas immer vollständig; die Strömung zeigte indess keine Verschiedenheit in Vergleichung mit den Präparaten in Wasser, es mochten dieselben beschattet oder beleuchtet sein. — Es wurde endlich die gleiche Zelle, welche früher in Wasser gelegen und Sauerstoff ausgeschieden hatte und deren Strömungsgeschwindigkeit bestimmt worden war, unmittelbar nachher in fettes Oel gebracht und die Gasbildung dadurch unterbrochen. Die Circulation zeigte keine Veränderung.

Wenn ein Charenzweig in fettes Oel gelegt wird, so ändert sich die Schnelligkeit der Strömung zunächst nicht. Sie kann sogar noch während einiger Zeit eine Steigerung zeigen, wenn damit eine Temperaturerhöhung verbunden ist. Indessen tritt früher oder später, oft erst nach einigen Stunden, eine merkliche Verlangsamung und zuletzt vollständiger Stillstand ein. Die Zelle stirbt aber zugleich ab. — Die gleiche Beobachtung macht man auch, wenn man Charenzellen in verdünnte Zuckerlösung legt. Die nächste Folge ist oft eine Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit bis zu dem Zeitpunct, wo die Wirkungen der Exosmose beginnen. Dann tritt Verlangsamung ein und nimmt immer mehr überhand, bis Ruhe und Tod erfolgen. So wurde ein Zweig von Nitella syncarpa in 10prozentige Zuckerlösung gebracht. In dem ersten Augenblick wurde der Raum von $\frac{1}{10}$ Mill. in 8 Secunden durchlaufen, und 7 Minuten später, nachdem sich die Zelle von der mechanischen Erschütterung bei der Präparation erholt, und die Temperatur der Luft angenommen hatte, in 4 Secunden. Von da an wurde die Circulation während 4 Stunden allmälig schneller, was durch eine entsprechende Wärmezunahme sich erklärte, so dass zuletzt, bei 15° C., $\frac{1}{10}$ Mill. in $2\frac{1}{2}$ Secunden zurückgelegt wurde. Nun begann die Wirkung der Exosmose; der Primordialschlauch löste sich stellenweise von der Membran ab; und 8 Minuten nachdem die Strömungsgeschwindigkeit noch 2,5 Secunden auf $^1/_{10}$ Mill. betragen, hatte sie schon so sehr abgenommen, dass der gleiche Raum in 5,8 Secunden durchlaufen wurde.

Als Resultat lässt sich Folgendes aussprechen: Das Licht hat keinen erheblichen directen Einfluss auf die Circulation der Characeen, insofern es nicht durch die calorischen Strahlen eine Temperaturerhöhung bewirkt. Namentlich sind die Assimilations- oder Desoxydationsprocesse, welche durch das Licht bedingt werden, ganz ohne Beziehung zu der Bewegung. Das Licht und die unter seiner Einwirkung stehende Assimilation hat nur insofern Einfluss auf die Circulation, als die Pflanze, die längere Zeit dem Lichte entzogen wird, leidet und zuletzt stirbt. Wenn daher die Wärme durch Steigerung des Lebensprocesses die Bewegung beschleunigt, so kann es nur durch solche Vorgänge geschehen, welche das Licht nicht nothwendig haben, wahrscheinlich durch Processe der Rückbildung, vielleicht der Verbrennung.

Man hat die bewegende Ursache der Strömung in den Chlorophyllkörnern des Wandbeleges zu finden geglaubt, und diese mit den Elementen der galvanischen Batterie verglichen. Die Unrichtigkeit dieser Ansicht ist längstens durch die Bemerkung widerlegt, dass in Charen und in andern Pflanzen die Circulation auch ohne jenes Chlorophyllbeleg statt finden kann. Allein eine innige Beziehung zwischen der Formation desselben und der Strömung ist gleichwohl vorhanden. Die Chlorophyllschicht ist bekanntlich in zwei Platten getrennt, welche genau dem acropetalen und basipetalen Strom entsprechen. Mit der Drehung der Zelle und der grünen Platten dreht sich ganz gleichmässig auch die Strömung. Der freie weisse Raum zwischen den grünen Platten (der Indifferenzstreifen) trifft immer mitten auf die in Ruhe befindliche Flüssigkeitsschicht zwischen den beiden Strömen (Indifferenzschicht). Die Chlorophyllkörner sind in Längsreihen geordnet, und diese Reihen sind mit der Strömungsrichtung parallel. Rotation, Chlorophyllbildung und Ernährung der Membran (denn von letzterer hängt die Drehung der Zelle ab) stehen also in irgend einem Causalnexus zu einander, sei es dass eine Erscheinung die andere bedinge oder dass alle drei von einer gemeinsamen Ursache abhängen.

Folgende Vorstellung möchte einige Wahrscheinlichkeit für sich haben. Zuerst beginnt die Strömung. Nachher bedeckt sich die ganze innere Fläche des Primordialschlauches mit kleinen Chlorophyllkörnern. Dieselben sind anfänglich noch ungeordnet; erst mit der Streckung der Zelle ordnen sie sich in Längsreihen, was die einfache mechanische Folge des Wachsthumsprocesses zu sein scheint. Mit dem Längenwachsthum des Primordialschlauches dehnen sich auch die demselben anhängenden Chlorophyllkörner in die Länge und zerfallen durch wiederholte Zweitheilung, sodass aus einem ursprünglichen Korn nach und nach eine ganze Reihe entsteht. — Das Chlorophyllbeleg bedeckt anfänglich die ganze Seitenwandung fast gleichmässig. Dann wird dasselbe an den Stellen, wo die Indifferenzschicht die Wandung berührt, lockerer, indem die Zwischenräume zwischen den Chlorophyllkörnern grösser werden. Diesen Zustand zeigen die

Endzellen der Quirlzweige von Nitella syncarpa, die eine Länge von 0,6 bis 0,8 Mill. haben. Die Chlorophyllkörner rücken nun an den betreffenden Stellen immer mehr aus einander, und bilden dadurch den farblosen leeren Indifferenzstreifen. Man könnte das so erklären, dass die Zellmembran und der Primordialschlauch an der Stelle, wo sie von der Indifferenzschicht berührt werden, lebhafter wachsen. Richtiger aber möchte es wohl sein, wenn man annimmt, dass die Chlorophyllkörner nur an der Fläche, wo die Strömung statt hat, in einem dem Wachsthum der Zelle entsprechenden Verhältniss an Zahl zunehmen, dass sie dagegen an den die Indifferenzschicht bedeckenden Stellen sich weniger lebhaft oder gar nicht vermehren, sodass in Folge der Zellenausdehnung hier sich eine Lücke bildet. — Was den Zusammenhang zwischen der spiraligen Drehung der Membran und der Chlorophyllplatten betrifft, so besteht er wohl einfach darin, dass der sich bewegenden Membran, welche durch ungleichmässige Ernährung die Drehung der Zelle veranlasst, der innig adhärirende, überdem weiche und dehnbare Primordialschlauch, sammt dem Chlorophyllbeleg mechanisch nachfolgt. Die Chlorophyllplatten ziehen aber offenbar die Strömung nach sich, und lenken sie von der geraden in die schraubenförmige Bahn ab.

So möchte man mit einiger Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Strömung zunächst die Anordnung der Chlorophyllkörner bedingt, und dass die einmal erfolgte Anordnung der letzteren die Strömung festhält und ihren eigenen räumlichen Veränderungen zu folgen veranlasst.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist während der Lebensdauer einer Zelle nicht immer die nämliche. Diese Beobachtung wurde auch von Göppert und Cohn gemacht; sie fanden, dass der nämliche Raum in einer 1,8'' langen Zelle von Nitella flexilis in der Zeit von 6 Secunden, in sehr jungen, namentlich Knospenzellen dagegen in 7—8 Secunden durchlaufen werde. Diese gefundene Differenz ist indess beträchtlich geringer, als sie in der Wirklichkeit besteht; der Irrthum rührt offenbar daher, dass in der grössern Zelle Inhaltsgebilde, die einer tiefern Flüssigkeitsschicht angehörten, beobachtet, und mit der oberflächlichen Strömung der jüngern Zellen verglichen wurden. — Da es nicht möglich ist, einen Charenzweig unter dem Microscop wachsen zu lassen, so muss man, um brauchbare Thatsachen zu erlangen, gleichwerthige Zellen der nämlichen Pflanze gleichzeitig beobachten. Ich theile hier, statt mehrerer, 2 solche Beispiele mit. Fünf successive Stammglieder von Nitella syncarpa (A, B, C, D, E) verhielten sich folgendermaassen:

	Länge in M^{ll}.	Durchmesser in Mill.	Umfang in Mill.	Umlaufszeit in Secunden.	$^1/_{10}$ Mill. wird durchlaufen in Secunden.
A	7,7	0,3	16	464	2,9
B	2,5	0,33	6	144	2,4
C	0,9	0,25	2,3	62	2,7
D	0,47	0,23	1,4	46	3,3
E	0,20	0,15	0,7	42	6

Sieben successive Stammglieder von Nitella hyalina (F, G, H, I, K, L, M) zeigten folgende Verhältnisse:

	Länge in Mill.	Durchmesser in Mill.	Umfang in Mill.	Umlaufszeit in Secunden.	$^1/_{10}$ Mill. wird durchlaufen in Secunden.
F	14	0,27	28,8	2880	10
G	9	0,3	19	1330	7
H	7,5	0,27	15,7	628	4
I	6	0,24	12,6	315	2,5
K	3	0,2	6,4	173	2,7
L	0,8	0,18	2	88	4,4
M	0,3	0,17	0,94	66	7

In den jüngsten Zellen mangelt die Rotation ganz. Dann beginnt sie sehr langsam, und nimmt mit dem Wachsthum der Zelle an Schnelligkeit zu bis zu einem bestimmten Entwickelungsstadium. Von hier an, obgleich die Zelle noch immer fortwächst, wird die Strömung wieder allmälig langsamer. In dem ersten Beispiel ist die Bewegung in der 2,4 Mill. langen Zelle 2$^1/_2$ mal so geschwind als in der 0,20 Mill. langen. In dem zweiten Beispiel geht die Strömung in der 6 Mill. langen Zelle fast 3mal so schnell als in der 0,3 Mill. langen, während das 14 Mill. lange Glied eine 4mal langsamere Bewegung zeigt. Wird dagegen die ganze Umlaufszeit berücksichtigt, so ist dieselbe schon in sehr jungen Zellen kürzer als späterhin; sie wird um so länger, je älter die Zelle wird. Da diess auch für diejenige Zeit der Lebensperiode gilt, wo die Bewegung an Schnelligkeit zunimmt, so liegt darin der Beweis, dass die Wachsthumszunahme in einem stärkeren Verhältniss erfolgt als die Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit. — Ich füge noch die Bemerkung bei, dass ich immer nur die oberflächliche Strömung berücksichtigte.

Göppert und Cohn sagen, die Abnahme der Geschwindigkeit in jüngern Zellen scheine mit der vermehrten Reibung einer Flüssigkeitssäule von grösserer Tiefe in einem engeren Gefässe zusammenzuhängen. — Hier ist Folgendes zu berücksichtigen. Gesetzt auch, das Protoplasma wäre die Ursache der Bewegung, und die Wandung wirkte bloss als Reibungswiderstand, so würde der letztere für die Flächeneinheit proportional der Grösse des senkrechten Druckes sein, und er würde zunehmen, wenn der Krümmungshalbmesser der ganzen Rotation kleiner wird. Die Tiefe des Stromes aber müsste im entgegengesetzten Sinne wirken, da sie eine grössere Masse und somit eine grössere Summe von bewegender Kraft für die Flächeneinheit ergäbe. Diese Erklärung würde aber nicht mit dem Factum übereinstimmen, und ich habe oben aus andern Gründen nachgewiesen, dass die bewegende Kraft nicht in dem strömenden Protoplasma, sondern in der ruhenden Wandung ihren Sitz hat.

Die Beziehungen zwischen den ursächlichen Momenten der zu- und abnehmenden Strömungsgeschwindigkeit und den Entwickelungsstadien der Zellen lassen sich kaum andeutungsweise behandeln, da weder über die Grösse der Kräfte noch über die Grösse der Widerstände etwas bekannt ist. Es wird diess sogleich klar, sowie man die Verhältnisse zu analysiren beginnt. Um zuerst von den Widerständen zu sprechen, so können dieselben nur in der Reibung gefunden werden. Diese Reibung ist eine doppelte, 1) an der äussern und 2) an der innern Fläche des Stromes. Die äussere Reibung auf dem ruhenden Wandbeleg ist für die Flächeneinheit um so grösser, je kleiner der Umfang des Strömungszirkels, und um so grösser, je grösser die Attraction des Wandbeleges ist, wenn eine solche überhaupt existirt. Die innere Reibung findet zwischen den entgegengesetzten Strömen selbst statt, und vertheilt sich wegen der von aussen nach innen abnehmenden Geschwindigkeit auf eine Menge von Flüssigkeitsschichten. Sie ist verhältnissmässig (für eine gleiche Fläche) um so grösser, je grösser der Strömungszirkel, weil derselbe mit der Grössenzunahme von der kreisförmigen in die cylindrische Gestalt übergeht. Alle Reibung (sowohl die äussere als die innere) nimmt ferner überhaupt zu mit der Dichtigkeit der strömenden Masse. Nach Diesem glaube ich nicht, dass der bedeutende Unterschied zwischen jüngern und weiter entwickelten Zellen aus ungleichen Reibungswiderständen zu erklären sei. Es scheint mir im Gegentheil entschieden, dass die bewegenden Kräfte in den allerjüngsten Zuständen noch gar nicht wirksam sind, dass sie dann in geringem Maasse beginnen und bis zu einem gewissen Entwickelungsstadium zunehmen, nachher aber sich wieder vermindern.

Es ist übrigens bei Vergleichung von jüngern und ältern Zellen noch ein anderer Punct zu berücksichtigen. In den ältern Zellen bewegen sich die im Wasser frei schwimmenden Inhaltstheile mit ungleicher Geschwindigkeit, die oberflächlichen schneller, die tiefern langsamer. In den jüngern Zellen dagegen strömt eine dicke Lage von Protoplasma, in ihrer äussern und innern Partie mit gleicher Schnelligkeit; die Zähigkeit der dickflüssigen Masse erlaubt keine ungleiche Bewegung. Es darf daher, wenn man einen Schluss auf die bewegende Kraft machen will, die Strömung des Protoplasma der jüngern Zelle nicht mit der Strömung einer bestimmten Flüssigkeitsschicht der ältern Zelle, sondern nur mit dem Mittel aus allen Schichten, die eine verhältnissmässig gleiche Tiefe einnehmen, verglichen werden. — Dadurch erhält man ein Maass für die Strömungsgeschwindigkeit verschiedener Alterszustände, welches ein nicht allzu unrichtiger Ausdruck für die Grösse der bewegenden Kräfte sein möchte. Diesen Anforderungen entsprechen die vorhin mitgetheilten Messungen nicht.

Man könnte hier zwar einwenden, dass das Dickflüssige, auf der Wandung hinglitschende Protoplasma der jüngern Zelle eine viel grössere Reibung verursache, und dessnahen für eine gleiche Geschwindigkeit eine viel grössere Kraft voraussetze, als die wässerige Flüssigkeit der ältern Zelle mit den frei schwimmenden Inhaltskörpern. In der Theorie ist diess gewiss richtig. Dennoch lässt sich zum Voraus nicht bestimmen, ob die Reibung hier überhaupt eine Verlangsamung der Strömung zur Folge habe. Wenn man eine Zelle mit lauter frei schwimmenden Inhaltspartien untersucht, so bemerkt man, wie schon oben angegeben wurde, dass dieselben um so schneller sich vorwärts bewegen, je näher sie der Oberfläche liegen. Und selbst diejenigen, die unmittelbar die Wand berühren und also eine Reibung erfahren, scheinen nicht etwa langsamer, sondern eher schneller zu gehen, als die übrigen. Dessgleichen beobachtet man oft, dass Protoplasmamassen, die auf der Wandung hinglitschen, und frei schwimmende ebenfalls an der Oberfläche befindliche Plasmagebilde, wenn sie in der nämlichen Zelle sich befinden, auch ziemlich die gleiche Geschwindigkeit zeigen, indem bald die einen, bald die andern etwas schneller gehen. An grössern Plasmamassen sieht man oft deutlich, dass sie von frei schwimmenden Körnern, die etwas näher der Oberfläche liegen, als der innere Theil jener Massen, überholt werden. In einer Gliederzelle von Nitella hyalina von 0,5 Mill. Länge und 0,066 Mill. Dicke wurde der 1,2 Mill. betragende Umfang von einer grössern Plasmamasse in 23 Secunden, von einzelnen dunkeln Körnchen dagegen, welche um $^1/_3$ der ganzen Tiefe jener Masse von der Membran entfernt waren, in 21 Secunden durchlaufen.

Diese Thatsachen, in welchen eine fast gänzliche Wirkungslosigkeit der Reibung sich kundgibt, rühren offenbar von dem Umstande her, dass die bewegenden Kräfte in der Wandung ihren Sitz haben und somit auf die nächsten Gegenstände ihre stärkste Wirkung ausüben. Die Protoplasmamolecüle, welche der Wandung adhäriren, werden also voraussichtlich mit der grössten Gewalt fortgezogen. Es ist möglich, dass die Wirkungen der Reibung ganz oder grösstentheils dadurch verschwinden. Wenn man die Abnahme der Zugkräfte im Verhältniss zum Abstand von der Wandung genau kennte, so liesse sich annähernd bestimmen, wie sich adhärirende Plasmamassen und frei schwimmende Plasmagebilde in ihrer Strömungsgeschwindigkeit verhalten müssen.

Aber nicht nur kleine und junge Zellen zeigen eine langsamere Rotation als ältere und längere, sondern wir nehmen ein ähnliches Verhältniss auch wahr zwischen kurzen und langen Zellen von gleichem Alter und gleicher Ausbildung, obwohl hier die Differenz lange nicht so gross ist. Wenigstens scheint diess das Resultat einer grössern Reihe von Beobachtungen an Nitella syncarpa zu sein. Es wird hier zwar schwer, eine richtige Basis für die Vergleichung zu finden, weil, abgesehen von den Temperatureinflüssen auf die zu verschiedener Zeit gemachten Beobachtungen, nicht immer das relative Alter der Theile verschiedener Pflanzen bestimmt, und die Wirkungen der Individualität der Pflanze sowie der Verschiedenartigkeit der Organe bemessen werden kann. Wenn sich demungeachtet ergibt, dass Zellen, die eine beträchtlichere Grösse erreichen, auch zu einer grössern Strömungsgeschwindigkeit sich erheben, so könnte das mit dem Umstande in Beziehung stehen, dass solche Zellen auch, wie die grössere Masse ihrer Substanz beweist, einen energischeren Lebensprocess besitzen.

Glitschbewegung.

Ich habe eine früher theils unrichtig gedeutete, theils ganz übersehene Kategorie von Bewegungen als Glitschbewegung bezeichnet (Pflanzenphys. Untersuchungen I. 49) und mich dabei vorzüglich auf Untersuchungen an Conjugaten (Spirogyra, Closterium) gestützt. Ueber diese Bewegungen hat kürzlich De Bary seine Beobachtungen mitgetheilt (Untersuchungen über die Familie der Conjugaten p. 39). Was das Thatsächliche betrifft, so bestätigt er meinen Ausspruch, dass bei Closterium keine Rotation, wie man früher angenommen hatte, sondern ein Hin- und Hergehen von Körnchen in verschiedenen Richtungen stattfinde. Allein er versucht der Erscheinung eine andere Erklärung zu geben, indem er sagt, das ganze Phänomen gehöre ohne Zweifel in die Classe der so überaus verbreiteten selbstständigen Plasmabewegungen.

De Bary fügt bei, so wenig wie für diese (selbstständigen Plasmabewegungen) sei uns für die in Rede stehenden die Ursache bekannt. Ich möchte, diesem Letztern beistimmend, beifügen: Also wissen wir auch nicht, ob die Bewegungen des Protoplasma, alle oder einzelne, selbstständig sind oder nicht, d. h. ob sie von einer innern oder äussern Ursache abhängen. Es würde somit nichts als der allgemeine Ausspruch übrig bleiben, die Glitschbewegung gehöre zu den Plasmabewegungen; auch damit stimme ich überein; denn wo ich sie am schönsten beobachtete, war es gerade an einer Masse von Protoplasma, die an einer Scheidewand von Spirogyra hin und her wogte. Ich habe die Glitschbewegung aber nicht desshalb unterschieden, weil die sich bewegende Substanz oder die Bewegungsursache eine andere wäre, sondern weil die Art der Bewegung mir different erschien.

Von sich wiederholenden Bewegungen des Inhaltes unterscheide ich 4: die Rotation, die verzweigte oder fadenförmige Strömung, die Glitsch- und die Tanzbewegung. Die Rotation geht in einem einzigen in sich zurücklaufenden Strom um die Zelle. Die fadenförmige oder verzweigte Strömung stellt ein in sich zurücklaufendes System von Strömchen dar, die sich vereinigen und theilen, und die theils frei, theils wandständig verlaufen. Bei der Glitschbewegung gleiten einzelne Partieen des Inhaltes an einer Oberfläche abwechselnd hin und her. Bei der Tanzbewegung (»Molecularbewegung«*) hüpfen einzelne, in der Flüssigkeit frei schwimmende Körperchen auf dem nämlichen Platze herum.

Diese 4 Arten der Bewegung sind in typischer Ausprägung sehr characteristisch. Die beiden erstern (Rotation und verzweigte Strömung) haben das mit einander gemein, dass viele Inhaltstheile, die rechts und links neben, hinter und vor, über und unter einander liegen, in gleicher Richtung sich bewegen, also wirklich den Character der Strömung zeigen. Zwischen Rotation und fadenförmiger Strömung, wenn sie auch in den Charenzellen und in den Haaren von Tradescantia etc. noch so verschieden sind, gibt es aber keine absolute Grenze. — Die beiden letztern Bewegungen (Glitsch- und Tanzbewegung) stimmen darin überein, dass jede Partikel oder eine kleine Gruppe von solchen für sich eigenthümliche Bewegungen ausführt, ohne Rücksicht auf alle übrigen zu nehmen, wobei sie abwechselnd nach verschiedenen Seiten geht und zurückkehrt. Der Character der Strömung mangelt hier.

---

*) Der Ausdruck Molecularbewegungen ist für diejenigen Körper zu reserviren, welche die neuere Wissenschaft Molecüle nennt.

Es gibt eine Erscheinung, die den Uebergang zwischen fadenförmiger Strömung und Glitschbewegung zu vermitteln scheint, welche nach der gewöhnlichen Auffassung die erstere wäre, in der That aber die letztere ist. Ich habe in dem erwähnten Aufsatze davon gesprochen. Es sind Körnchen, welche an der Oberfläche von Plasmafäden in gleicher Weise hin und her glitschen, wie sonst an dem Primordialschlauche oder an einer Plasmaschicht. Bei der wirklichen fadenförmigen Strömung ist die Plasmasubstanz des Fadens selbst in Bewegung, was aber meistens nur durch das Fortrücken der in ihr eingebetteten Körnchen erkannt wird. Bei der eben genannten Erscheinung dagegen ist die Substanz des Plasmafadens in Ruhe; nur die demselben anhängenden Körnchen bewegen sich. Es mag Fälle geben, wo es schwer zu entscheiden ist, ob das Eine oder das Andere stattfindet. Aber es ist diess kein Grund, um Dinge, die in ihrer vollkommenen Ausbildung verschieden sind, nicht zu unterscheiden. Bei der fadenförmigen Strömung liegen die Körnchen innerhalb des Protoplasma, und alle Körnchen eines Fadens gehen in gleicher Richtung und gewöhnlich mit gleicher Geschwindigkeit. Bei der Glitschbewegung dagegen gehen die an einem Faden anhängenden Körnchen in verschiedener Richtung und mit ungleicher Schnelligkeit; einzelne können stillstehen, zwei neben einander befindliche selbst in entgegengesetzter Richtung laufen.

Damit will ich nicht behaupten, dass die fadenförmige Strömung nicht in die Glitschbewegung übergehen könne, dass es nicht Erscheinungen gebe, die zwischen beiden die Mitte halten. Ein solcher Uebergang ist nicht bloss möglich, er ist sogar nicht unwahrscheinlich. Die Plasmaströmchen wechseln bekanntlich häufig ihre Anordnung; was jetzt noch als breiter Fluss dahinzieht, kann nach einiger Zeit verzweigt, und in mehrere Bäche aufgelöst sein. In dem nämlichen Strömungsfaden kann auch die Richtung der Bewegung wechseln. Wenn nun die Theilung sehr weit geht und der Wechsel in der Richtung häufig sich wiederholt, was nur bei wandständigen Strömen eintreten kann, so ist die Strömung in der That zur Glitschbewegung geworden. Wenn anderseits nicht jede Inhaltspartikel eigenthümliche Bewegungen ausführt, und wenn die nämliche Bewegung nicht bloss auf mehrere, sondern auf viele sich ausdehnt, wenn auch noch verbindendes Protoplasma mit fortgeführt wird, so geht die Glitschbewegung in die Strömung über.

Die von mir in Closterium beobachtete Bewegung gehörte entschieden der Glitschbewegung an; oft sah ich zwei dicht neben oder hinter einander liegende Körnchen in entgegengesetzter Richtung gehen, oder das eine stillstehen, das andere fortrücken. De Bary's Beschreibung stimmt genau mit meinen Beobachtungen überein; er nennt es aber zahlreiche kleine Strömchen. Derselbe sah überdem noch in Closterium Lunula, dass die Bewegungen der Körnchen auch im Innern des Protoplasma statt hatten, und ferner, dass entsprechend der vorherrschenden oder ausschliesslichen Richtung in den Bewegungen der Körnchen auch eine Zu- und Abnahme des Protoplasma in den Zellenden bemerkbar war, ein Beweis, dass auch das Protoplasma sich theilweise in Bewegung befand. Möglicher Weise wäre hienach der Character der Glitschbewegung so zu erweitern, dass Inhaltspartikeln nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern von ruhendem Protoplasma hin und her glitschen können. Es ist ausserdem möglich, dass bei Closterium die Glitschbewegung zuweilen eine grössere oder geringere Aehnlichkeit mit wirklicher Strömung annimmt.

Wenn wir auch über die Ursache der Bewegung nichts wissen, so können wir doch nach den vorliegenden Thatsachen über den Sitz und die Anordnung der bewegenden Kräfte eine bestimmte Ansicht aussprechen. Ich habe oben (Pag. 74) gezeigt, dass bei der Rotation die Bewegungsursache in der ruhenden Wandung, nicht in dem strömenden Inhalt gesucht werden muss. Mit der Glitschbewegung verhält es sich ohne Zweifel ebenso. Die Verwandtschaft der fadenförmigen Strömung, namentlich mit der Rotation, möchte es wahrscheinlich machen, dass auch mit Rücksicht auf die Bewegungsursache eine Analogie bestehe. Bei der Rotation wirken die bewegenden Kräfte alle in Einer Richtung, und an der ganzen Oberfläche der Zelle, sie sind hier in grösster Menge thätig, und setzen den ganzen reichlichen Zelleninhalt in gleichlaufende Bewegung. Bei der fadenförmigen Strömung sind die bewegenden Kräfte auf einzelne streifenartige Partieen der Oberfläche und des Lumens beschränkt, welche unter einander zu einem Netz sich verbinden; sie sind in viel geringerer Menge vorhanden und erhalten eine kleinere Masse von Inhalt in langsamerer Bewegung. Sie haben ihren Sitz ohne Zweifel an der Oberfläche der Plasmaströmchen, sind aber immer noch von solcher Stärke, dass sie die ganze Masse dieser letztern in Strömung zu versetzen vermögen. Bei der Glitschbewegung sind die bewegenden Kräfte in noch viel geringerer Menge in einer Zelle thätig, und in Folge von viel grösserer Zersplitterung so vertheilt, dass auf jedem kleinsten Raume eigenthümliche Bewegungen auftreten. Sie sind auch hier in der Regel an der Oberfläche von Protoplasma thätig, vermögen aber meistens nur Körper, die demselben lose anhaften, fortzuschieben. Nur selten sind sie so mächtig, auch Theile des Protoplasma selber mitzuführen.

Ich habe schon früher die Glitschbewegung als das der Tanzbewegung vorausgehende Stadium bezeichnet, und gesagt, dieselbe wechsele auch häufig mit dieser letztern ab, so namentlich in der Art, dass die gleichen Körnchen bei Desmidiaceen bald glitschen, bald tanzen. Die Glitschbewegung scheint mir gewissermaassen die Mitte zwischen fadenförmiger Strömung und Tanzbewegung zu halten. Bei der letztern ist die Organisation der bewegenden Kräfte zu einem grössern oder kleinern System vollständig verschwunden. Sie sind nur mehr an der Oberfläche der einzelnen Inhaltspartikeln thätig.

Die eben versuchte Vergleichung der verschiedenen Bewegungsformen betrifft nur die Anordnung der Bewegungskräfte in einer Zelle. Ob die Natur der letztern verschieden sei und ob mit Rücksicht darauf neue oder andere Kategorien der Bewegung aufgestellt werden können, muss die Zukunft lehren. Für jetzt ist es mir nicht unwahrscheinlich, dass die 4 Arten der Bewegung auch von analogen Ursachen bedingt werden. Ich habe für die Rotation nachzuweisen versucht, dass dieselbe nicht mit der Assimilation, sondern mit Processen der Rückbildung im Zusammenhange steht. Der gleiche Nachweis lässt sich für die fadenförmige Strömung führen. Die Glitschbewegung geht meist einem totalen oder partiellen Absterben der Zelle voraus und die Molecularbewegung ist schon der deutliche Ausdruck der Zersetzung. Alle Bewegungen des Inhaltes stehen somit wohl mit Erscheinungen der absteigenden Reihe chemischer Processe (Rückbildung und Zersetzung) in Beziehung. Aber sie gehören verschiedenen Stufen derselben an; die Rotation und fadenförmige Strömung der Rückbildung, welche normal immer vorhanden und des Nachts fast ausschliesslich thätig ist, die Tanzbewegung der Zersetzung nach Aufhören des Lebensprocesses, und die Glitschbewegung dem Uebergang von ersterer zu letzterer.

Ortsbewegungen von frei schwimmenden Zellen und microscopischen mehrzelligen Pflanzen.

Die hiehergehörigen Bewegungen sind dreierlei Art: 1) Hin- und Hergehen ohne Drehung, 2) Hin- und Hergehen mit Drehung, 3) Vorwärtsgehen mit Drehung. Die erste Bewegung gehört den Diatomaceen und Desmidiaceen an, welche in der Richtung ihrer Achse in unregelmässiger Abwechselung vorwärts- und zurückgehen. — Die zweite ist einigen Oscillarieen (Oscillaria, Phormidium, Spirulina etc.) und einigen Organismen, die zu der von mir unterschiedenen Gruppe der Schizomyceten gehören, (Vibrio, Spirillum) eigenthümlich. Diese Pflänzchen bestehen aus einer einfachen Reihe von Zellen (gegliederten Fäden) mit gleichwerthigen Enden; sie schwimmen bald mit dem einen, bald mit dem andern Ende voran, indem sie unregelmässig abwechseln, und drehen sich gleichzeitig um ihre Achse; die einen bewegen sich äusserst langsam, die andern ziemlich schnell. — Die dritte Bewegung ist das Schwärmen der einzelligen Sporen von Algen und Wasserpilzen, der einzelligen Algen, der mehrzelligen Colonieen einzelliger Algen, der zellenähnlichen und fadenförmigen Spermatozoen. Die Zellen und Spermatozoen haben zwei ungleiche Enden; sie schwimmen in der Regel mit dem Wimperende constant voran und drehen sich dabei um die Achse, in deren Richtung sie sich vorwärts bewegen. Diese dritte Bewegung unterscheidet sich von der zweiten in nichts anderem, als dass sie entsprechend einer Differenz zwischen den beiden Enden nicht abwechselnd vor- und rückwärts geht. Ihre Schnelligkeit und scheinbare Unregelmässigkeit hat ihr zwar den Namen des Schwärmens verdient; allein, wenn auch Oscillaria und gar Phormidium viel langsamer fortrücken, so stehen Spirulina und besonders Vibrio und Spirillum in nichts nach.

Ich will von diesen Bewegungen bloss einige verkannte oder weniger beachtete Puncte berühren.

Die Oscillarien haben mit ihren scheinbar seltsamen Bewegungen den Pflanzenphysiologen viel Sorge gemacht. Dennoch verhält sich die Sache sehr einfach; und es ist diess auch bereits publicirt*) und von mir wiederholt öffentlich ausgesprochen worden**). Da indess die richtige Deutung bis in die neueste Zeit theils unbeachtet blieb, theils auch widersprochen wurde, so nehme ich hier Veranlassung, näher auf die Sache einzugehen.

Auf den ersten Blick stellen sich die Bewegungen der Oscillarien so dar, wie sie gewöhnlich beschrieben werden. Die Fäden schwingen pendelartig hin und her, biegen sich in verschiedener Weise, wobei sie selbst Schlingen bilden können, und zeigen schlangenförmige Bewegungen. Einige Arten lassen mehr die einen, einige mehr die andern Erscheinungen wahrnehmen je nach der Dicke und Biegsamkeit ihrer Fäden und der Beschaffenheit der Scheiden. Da ich an verschiedenen Arten alle Bewegungen, die man überhaupt an Oscillarien beobachtet, aus der nämlichen Ursache hervorgehen sah, so halte ich mich auch berechtigt, diess als für alle gültig auszusprechen. Die Arten, welche genauer untersucht wurden, sind folgende. Im August und September 1847, als ich zuerst auf die Drehung der Oscillarien aufmerksam wurde, beobachtete ich O. viridis Kg., O. Kützingiana Näg., O. Frölichii Kg. und besonders eine noch neue und unbeschriebene Art, die ich damals in meinen Notizen, weil sie mir die Bewegung zuerst und auch besonders deutlich gezeigt hatte, O. docens nannte. Im Sommer 1852 untersuchten meine damaligen Schüler C. Cramer O. limosa Ag. und L. Fischer O. Frölichii Kg., ich selber in letzter Zeit noch zwei neue Species, die ich O. clathrata und O. membranulosa genannt habe***). An den erwähnten Arten wurden die einzelnen Verhältnisse genauer studirt. Ausserdem habe ich die Drehung der Fäden häufig beobachtet.

Alle Bewegungen der Oscillarien beruhen nun darauf, dass die Fäden sich drehen und dabei vor- oder rückwärts gehen. Diess kann längere oder kürzere Zeit in einer Richtung fortdauern. Manche Fäden gehen ebensoweit rückwärts, als sie vorwärts gingen, und bleiben somit fortwährend auf der nämlichen Stelle; andere bewegen sich stets länger in der einen Richtung als in der andern, und das Gesammtresultat ist ein Fortrücken. Es gibt auch Fäden, die ohne Regel bald weiter vorwärts, bald weiter zurück gehen. Dass sie sich dabei um ihre Achse drehen, erkennt man sehr deutlich, wenn man einen gebogenen Endtheil genau beobachtet. Der Scheitel beschreibt in Folge der Krümmung einen Kreis, und der ganze gebogene Endtheil umschreibt einen trichterförmigen Raum. Desswegen ist die Spitze des Fadens bald nach links, bald nach rechts gebogen, und scheint pendelförmige Schwingungen zu machen. Diess Alles hat keine Schwierigkeit an Fäden, welche frei schwimmen; dieselben ändern ihre Gestalt nicht, und die Bewegungen, sowohl die fortrückende als die drehende, gehen ziemlich stetig von statten. Auch die frei schwimmenden Enden von Fäden, die sonst andere Gegenstände berühren, verändern ihre Form nicht im Geringsten.

---

*) Fischer, Beiträge zur Kenntniss der Nostochaceen pag. 16.

**) Zuletzt noch auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Wien, wo es jedoch aus Versehen nicht in das Tageblatt aufgenommen wurde.

***) Die Diagnose der neuen Arten verspare ich auf eine andere Gelegenheit.

Es ist aber sehr selten, dass man einen längern, wirklich frei schwimmenden Faden zur Beobachtung erhält. Gewöhnlich stossen dieselben mit einem Ende oder mit irgend einer andern Partie an einen fremden Gegenstand an, an den Objectträger, an das Deckglas, an die Oberfläche des Wassers, wenn dasselbe unbedeckt ist, an andere Oscillarienfäden. Sie legen sich auch in Folge der Adhäsion auf längere Strecken an diese Gegenstände an. Dadurch wird die freie Bewegung vielfach gehemmt; sie wird ungleichmässig und ruckweise ausgeführt, und die Faden zeigen dabei verschiedene Gestaltsveränderungen. Die Drehung des gebogenen Endes wird, wenn dasselbe irgendwo anstösst, momentweise aufgehalten, dadurch entsteht eine Spannung und dann ein plötzliches Schnellen nach rechts und links. In gleicher Weise wird die Vorwärtsbewegung gehemmt; es tritt ein Stillstand und nachher ein Vorwärtsschnellen ein. Wenn der Faden biegsam ist und mit dem vorrückenden Ende irgendwo anstösst, so biegt er sich. Wird durch die Spannung der Widerstand überwunden, so streckt er sich wieder, um sich vielleicht nachher sogleich von neuem zu krümmen. Der Grad der Krümmung hängt von seiner Biegsamkeit, von der Grösse des Widerstandes und von der Kraft der Bewegung ab; die Art der Krümmung von den äussern Verhältnissen. Wenn das Hinderniss gross, und der Faden sehr dünn ist, so schliesst sich die Krümmung oft zu einer vollständigen Schlinge. Wenn ein sich krümmender Faden nicht bloss mit dem Ende, sondern auch noch mit einer mittleren Stelle anstösst und hier ebenfalls einen Reibungswiderstand erfährt, so biegt er sich S förmig. Bei einiger Aufmerksamkeit wird es meist möglich, die Hindernisse der Gleichmässigkeit und Stetigkeit im Fortrücken und in der Achsendrehung aufzufinden, und daraus die zitternden und ruckweise schnellenden Bewegungen, sowie die wirklichen Biegungen abzuleiten.

Die beiden Bewegungen der Oscillarien (Vorrücken und Achsendrehung) scheinen mir in keinem bestimmten Verhältniss zu stehen, sodass ein schnelleres Vorwärtsgehen mit langsamerem Drehen, und ein langsameres Vorwärtsgehen mit schnellerem Drehen verbunden sein kann. Uebrigens ist es hier schwer in's Reine zu kommen, weil die beiden Bewegungen ungleich gehemmt sein können. Um eine Vorstellung von der Schnelligkeit zu geben, füge ich bei, dass eine Achsendrehung bei O. docens durchschnittlich in 6 Secunden, bei O. limosa in 20 bis 60 Secunden, bei O. membranulosa in 8 bis 40 Secunden (bei 26° C.) erfolgte. Frei liegende kürzere Fäden von O. limosa legten $^1/_{10}$ Mill. in 6—9 Secunden zurück. Sie rückten in der Regel während 2 bis 3 Minuten und während 2 bis 6 Umdrehungen nach einer Seite hin vorwärts, dann gingen sie in entgegengesetzter Richtung. — Auch bei Phormidium vulgare bewegen sich die Fäden innerhalb der Scheiden (wie diess bei Oscillaria beobachtet ist), aber langsamer, als wenn sie frei sind. Ein 160 Mik. langes und 5,5 Mik. dickes Fadenstück rückte in seiner Scheide bald vor-, bald rückwärts. 10 Mik. ($^1/_{100}$ Mill.) wurden bei 26° C.

durchlaufen in 30, 50, 90, 120, 190 Secunden. Diese höchst ungleiche Geschwindigkeit rührte ohne Zweifel von dem ungleichen Reibungswiderstande her. Dass die Scheide ruhig blieb, erkannte man sowohl an den Unebenheiten derselben als an den anhaftenden Körnchen. Ein 250 Mik. langer und ebenfalls 5,5 Mik. dicker frei liegender Faden durchlief zu gleicher Zeit 10 Mik. ($^1/_{100}$ Mill.) in 10 Secunden.

Die Oscillarienfäden haben zwei gleiche Enden, dieselben sind etwas verdünnt und besitzen immer die Neigung zu einer schraubenzieherartigen Gestalt. Diese Schraube zeigt aber selten einen ganzen, 1½ oder selbst 2 Umläufe. Meistens ist sie auf einen halben Umlauf beschränkt und erscheint daher einfach gekrümmt. Der hintere Theil des schraubenförmigen Endes streckt sich fortwährend, in dem Maasse, wie dieses selbst durch das Wachsthum sich verlängert. — Abgesehen von dem schraubenzieherförmigen, gekrümmten oder geraden Ende selbst, ist häufig auch der ganze Endtheil des Fadens gebogen, und zeigt dann um so deutlicher die Achsendrehung. — Wenn ein Oscillarienfaden in Stücke zerbricht, so bilden sich bald an jedem Stück die beiden Enden in der ebengenannten Art aus. Das Wachsthum (durch Zellentheilung) ist am lebhaftesten in den Enden, dauert aber jederzeit in allen übrigen Theilen des Fadens.

Einige Oscillarien (z. B. O. viridis Kg.) und Phormidien (Ph. vulgare) haben eine Krone von Wimpern an ihrem Ende. Dieselben sind in der Regel auf die Endzelle selbst beschränkt. Sie erreichen bei Phormidium vulgare eine Länge bis 40 Mik., und sind bald gerade, bald gebogen, bald abstehend, bald zusammenneigend, meistens aber ziemlich gerade nach vorn gestreckt. Gliederung kann auf keine Weise an ihnen deutlich gemacht werden. Jod färbt sie gelblich oder bräunlich. Ohne Zweifel sind es Anhänge des Primordialschlauches, und wahrscheinlich zu vergleichen mit den kurzen Härchen, welche in dem innern Theil der Scheide einiger Spirogyren vorkommen *) und mit den Wimpern der Schwärmzellen. Die Wimpern der Oscillarienfäden sind aber unbeweglich.

Es gibt zwei Erscheinungen an Oscillarien, von denen ich nicht weiss, ob sie hieher gehören. Entzweigebrochene Fäden zeigen an der Kante um die Bruchfläche oft unregelmässige, wimperähnliche Fäserchen; es schien mir mehrmals, als ob sie durch das Zerreissen der Scheide hervorgebracht wären. — An einer neuen Art von Oscillaria (die ich O. striatula genannt habe) sind die Fäden in der ganzen Länge behaart, indem auf den Scheidewänden zarte, bis 10 Mik. lange Wimpern stehen.

Bekannt ist das Strahlen der Oscillarienfäden. Wenn man etwas Oscillarienschleim auf eine feuchte oder benetzte Fläche (Glasplatte, Teller, Papier) bringt, so gehen die Fäden radienförmig aus einander und man erhält jene schönen Herbarienexemplare, die wie Strahlenkränze aussehen. Es ist diess als Wachsthum bezeichnet worden, beruht indess bloss auf der Bewegung der Fäden, wie man schon deutlich aus dem Umstande erkennt, dass je weiteren Umfang der Strahlen-

---

*) Vergl. Pflanzenphysiol. Untersuchungen I, Taf. III, 1.

kranz gewinnt, er desto mehr an Intensität der Färbung abnimmt. Man könnte auf den ersten Anblick vermuthen, dass dieses radienförmige Auseinandergehen der Oscillarienfäden durch eine neue besondere Eigenthümlichkeit ihrer Bewegung hervorgebracht werde. Ich glaube jedoch, dass es sich vollständig als mechanische Folge der bekannten Erscheinungen nachweisen lässt.

In der Schleimmasse, die man auf eine befeuchtete Fläche bringt, liegen die Fäden nach allen Richtungen durch einander. Die Bewegungen werden also auch in allen Richtungen abwechselnd vor- und rückwärts gehen. Aber sie finden nicht nach allen Seiten hin den nämlichen Widerstand. Die geringsten Hindernisse bieten sich immer der Bewegung dar, welche auf den Radien nach aussen geht, die grössten derjenigen, welche auf den Radien nach innen geht. Zwischen diesen beiden Richtungen nehmen die Widerstände ab und zu, sodass also durchschnittlich ein Faden um so leichter sich bewegen kann, je mehr er von der centripetalen, um so schwerer, je mehr er von der centrifugalen Richtung sich entfernt, und dass die mit der Tangente parallelen Bewegungen auf Hindernisse von mittlerer Grösse treffen. Nehmen wir nun an, dass die Fäden durchschnittlich eben so lange in der Richtung des einen wie des andern Endes vorwärts gehen, so werden sie in centrifugaler Richtung immer einen viel grössern Weg zurücklegen, als in centripetaler, weil sie dort auf die kleinsten Widerstände stossen; sie werden häufig in centripetaler Richtung gar nicht fortrücken können. Die nothwendige Folge davon ist ein radienförmiges Auseinandergehen der Fäden, denn jeder derselben entfernt sich von der ursprünglichen Anhäufung; und die Richtung, in der er es thut, wird, je weiter er gegangen ist, desto mehr als eine genau radiale erscheinen.

Ich habe eben angenommen, dass die Oscillarienfäden gleich lange in der Richtung des einen und des andern Endes sich bewegen. Es ist möglich, dass diess zu Gunsten der Strahlung sich ändert. An vollkommen frei liegenden Fäden habe ich mehrmals beobachtet, dass dieselben, wenn sie an einen Gegenstand anstossen, kurze Zeit stille stehen und dann zurückgehen. Es scheint also, dass ein Widerstand die Umsetzung in der Bewegungsrichtung verursachen kann. Wenn diess richtig ist, so müsste man annehmen, dass die centripetale Bewegung immer weniger lange andaure, als die centrifugale. — Das Licht hat ebenfalls Einfluss auf die Bewegung, und wird in gleicher Weise die centrifugale gegenüber der centripetalen begünstigen.

Es strahlen übrigens durchaus nicht alle Oscillarienarten gleich schön und gleich stark. Diess hängt von der Lebhaftigkeit der Bewegung und von der Steifheit der Fäden ab. Je lebhafter die Fäden sich bewegen, desto schneller haben sie natürlich einen Strahlenkranz von einer bestimmten Grösse gebildet; desswegen strahlen auch die Oscillarien besser als die Phormidien. — Je steifer die Fäden sind, und je weniger leicht sie sich biegen, desto mehr bilden sie eine regelmässige radienförmige Anordnung. Biegsamere Fäden krümmen sich leicht, werden aus ihrer Richtung gebracht und wickeln sich in Folge der Drehung um einander herum und bilden Bündel. Das Zusammenkleben in bündelförmige

Massen hängt auch von der grössern oder geringern Klebrigkeit der Oberfläche ab. Da im Allgemeinen mit der Dicke der Fäden die Steifheit zu-, die Adhäsionsfähigkeit abnimmt, so strahlen die Arten mit dickern Fäden schöner und regelmässiger, als die dünnern. Es gibt selbst Oscillarien, welche, obgleich mit sehr lebhafter Bewegung begabt, beinahe gar nicht strahlen. Diess Letztere beobachtete ich in vorzüglichem Grade bei O. membranulosa. Anhäufungen derselben bilden selbst nach längerer Zeit bloss einen schmalen Hof (z. B. nach 5 Tagen von 10 Mill. Breite), und hier haben die Fäden keine radiale, nicht einmal eine vorwiegend radiale Richtung; sondern sie sind nach allen Seiten gekehrt und durch einander geschlungen. Meistens liegen sie nicht einzeln, sondern sind in dichte Bündel vereinigt, und die Bündel bilden ein Netz mit unregelmässigen, bald mehr rundlichen, bald mehr länglichen Maschen. Die Fäden dieser Oscillaria sind 1,3 bis 2 Mik. ($\frac{1}{1700}$ bis $\frac{1}{1100}'''$) dick, sehr biegsam, und sehr leicht an einander festklebend. Daher können sie nur langsam aus dem Lager, oder aus einer Anhäufung frei werden. Wenn dann 2 oder mehrere Fäden, aus der Masse ganz oder theilweise heraustretend, einmal mit einander in Berührung kommen, so machen sie meistens sich nicht wieder von einander los, sondern sie schlingen sich, wegen ihrer fortwährenden Drehung, zu einem strickartigen Bündel zusammen. Neu herzutretende Fäden vergrössern allmälig dasselbe.

Diese Neigung, sich in Bündel aufzuwickeln, findet man auch bei vielen andern Oscillarienarten. Allein die Bündel selbst haben dann eine radiale Anordnung; sie sind ferner viel lockerer geflochten, und jedes einzelne besteht aus einer viel geringern Zahl von Fäden, weil die Vereinigung nicht so leicht erfolgt und weil auch die Fäden sich leichter wieder lostrennen.

Die Oscillarien- und Phormidienfäden haben ferner die Neigung, sich in Membranen zu vereinigen; es ist auch diess eine Adhäsionserscheinung. Die Phormidien sind fester, die Oscillarien lockerer verbunden, was daher rührt, dass jene sehr langsame, diese lebhaftere Bewegungen, jene festere, diese weichere Scheiden haben. Den Process, wie die Fäden sich zu Membranen vereinigen, verfolgt man am besten in Gläsern. Ich goss Wasser, in welchem durch Umrühren Fäden der Oscillaria membranulosa ziemlich gleichmässig vertheilt schienen, in ein Glas. Die Fäden, die anfänglich überall im Wasser frei herum schwammen, sammelten sich nach und nach an der ganzen Peripherie der Wassermasse, und bildeten eine dünne Haut, welche den Grund, die Seitenwandungen des Glases und die freie Oberfläche des Wassers überzog, somit einen überall geschlossenen Sack darstellte. Diese Haut wurde zuletzt so zähe, dass sie unverletzt herausgenommen werden konnte. Im Wasser wurden keine frei schwimmenden Fäden mehr gefunden. Nicht alle der letztern hatten indess sich an der Peripherie des Wassers angelagert. Schon mit blossem Auge bemerkte man einzelne dickere Fäden, die von der Haut ausgingen und mehr oder weniger weit in das Wasser frei hineinreichten. Bei der microscopischen Untersuchung erwiesen sich diese dickern Fäden als Stränge von Oscillaria, die einen Zygnemafaden zur Unterlage hatten. Die 1,3 bis 2 Mik. dünnen Oscillarienfäden umspannen den 25 Mik.

dicken Zygnemafaden ringsum, und bedeckten ihn mit einem sehr dichten Filz, wobei der ganze Strang eine Dicke von 50 bis 75 und 100 Mik. erreichte, und die cylindrische Form ziemlich behielt. In den dickern Strängen war der eingeschlossene Zygnemafaden abgestorben.

Die Oscillarienfäden haben also ausser dem schon früher erwähnten Bestreben, sich mit einander zu Strängen zu vereinigen (welche mehr oder weniger einem gedrehten Strick gleichen), auch dasjenige, sich an die Oberfläche fremder Körper anzulegen und daselbst sich in einen hautartigen Ueberzug zu sammeln. Merkwürdig ist dabei, dass alle Seiten bekleidet werden, woraus es scheinen möchte, dass die Oscillarienfäden ziemlich mit gleicher Leichtigkeit nach allen Richtungen des Raumes sich bewegen. Ob indess nicht zwischen den verschiedenen Seiten eine Differenz bestehe und welche, darüber fehlen mir noch hinreichende Beobachtungen. Wenn ich nicht irre, so ist immer die Lichtseite vor der Schattenseite, und die Oberfläche des Wassers vor dem Grunde begünstigt. Letzteres beweist, dass die Fäden bei ihrer abwechselnden, vor- und rückgängigen Bewegung entweder viel kräftiger oder viel länger nach oben gehen als nach unten, weil sie in jener Richtung auch die Differenz des spezifischen Gewichtes zu überwinden haben.

Andere Oscillarien zeigen die gleiche Erscheinung. Auch Phormidium vulgare Kg. bildete in einem Glase auf die vorhin beschriebene Art einen geschlossenen Sack. Bei Oscillaria und Phormidium kleidet dieser Sack zuerst genau die ganze innere Oberfläche des Glases aus. Später löst er sich unten ab. Das Ablösen beginnt meistens an der untern Kante des cylindrischen Glases, dann folgt entweder bloss der Boden, oder der Boden und die Seitenfläche. Im erstern Falle bleibt der Sack den Seitenwandungen des Glases anliegend; er behält seine ursprüngliche Weite, aber er verkürzt sich auf ⅘ der anfänglichen Länge. Im zweiten Falle wird der Sack zugleich enger und kürzer; er hat sich überall von dem Glas getrennt und hängt frei im Wasser, bloss noch an die Oberfläche desselben angeheftet. Es ist offenbar, dass die Wandung des Sackes sich zusammenziehen muss. Bei Phormidium vulgare beobachtete ich einen solchen, dessen Volumen von 1 auf ⅓, die ganze Oberfläche von 1 auf 0,6 sich verkleinerte. Ueber die Ursachen dieser Erscheinung und die mechanischen Veränderungen, welche dieselben begleiten, weiss ich nichts beizufügen.

Betreffend Spirulina, Spirillum und Vibrio bemerke ich nur, dass dieselben ebenso starre Formen besitzen wie Oscillaria. Bei den grössern Spirulinaarten ist diess sehr leicht zu sehen. Für die Spirillumarten wird gewöhnlich angenommen, dass sie wie kleine Schlangen sich bewegen. Eine kleine sich lebhaft drehende Schraube gewährt immer den Anschein, als ob sie sich schlängelte; an den langsamern Spirillumfäden kann man sich aber mit Sicherheit überzeugen, dass sie bloss um ihre Achse sich drehen und dabei vorwärts gehen.

Schwieriger ist es, mit der Bewegung von Vibrio in's Reine zu kommen. Derselbe scheint nicht bloss eine schlängelnde, sondern auch eine eigenthümlich zitternde Bewegung zu haben. Ferner soll er sich strecken und wieder zur schlangenförmigen Gestalt zusammenziehen können. Man kann sich hier aber leicht täuschen. Sicher ist, dass wenn man ein gerades Stäbchen längere Zeit verfolgt, dasselbe immer gerade bleibt, und dass es sich vorwärts und rückwärts bewegt, ohne zu schlängeln. Sicher ist ferner, dass es einzelne Stäbchen mit grössern und weitern Windungen und mit langsamerer Bewegung gibt, welche ebenfalls nie den Anschein gewähren, als ob sie sich schlängelten, sondern an denen man bloss Drehung und Fortrücken wahrnimmt. Sicher ist endlich, dass alle Individuen ohne Ausnahme bei der langsamern Bewegung, mit der sie ihr Schwärmen beginnen und endigen, ebenfalls bloss sich drehen, ohne die Gestalt zu ändern. Sie sind nämlich bald in Ruhe, bald in Bewegung. Nachdem sie geruht haben, beginnt die Bewegung zuerst langsam; dann wird sie rasch und zeigt den scheinbar schlängelnden und zitternden Charakter; vor der Ruhe wird sie wieder langsamer.

Die Bewegung von Spirulina, Spirillum und Vibrio stimmt auch darin mit Oscillaria überein, dass sie eine Zeit lang in einer Richtung vorwärts, dann in entgegengesetzter Richtung zurückgeht.

Alle Pflanzen, denen die besprochene Bewegung (Hin- und Hergehen mit Drehung um die Achse) gemeinsam ist, sind entweder schraubenförmig gewunden (Spirulina, Spirillum, Vibrio) oder haben eine entfernte Neigung zu schraubenförmiger Windung (Oscillaria, Phormidium). Die Richtung der Schraube stimmt immer mit der Richtung der drehenden Bewegung überein. Und zwar habe ich bei allen beobachteten Arten südöstliche (nach botanischer Terminologie linke) Drehung und Windung gefunden. Die Spirulinaarten sind deutlich südöstlich gewunden; auch Kützing zeichnet die meisten Arten so ab. Dagegen zeigen Sp. subsalsa und Sp. solitaris südwestliche Windung, wenn die Abbildung richtig ist (Kütz. Tab. Phyc. I. Tab. 37). Auch die Spirillumarten erscheinen bei stärkern Vergrösserungen deutlich südöstlich gewunden. Wenn ich nicht irre, so gilt diess auch von Vibrio.

Es gibt Oscillarien, von denen man zuweilen einzelne Fäden spiralig gewunden in einer engen, dünnwandigen Blase eingeschlossen findet; die Wendung fand ich südöstlich. An den schraubenzieherförmigen Enden von Oscillarien und Phormidien ist die Richtung oft nicht deutlich zu sehen; wo sie es war, fand ich ebenfalls südöstliche Wendung. Sehr leicht kann dagegen immer die Richtung, in welcher die Drehung des gebogenen Endes erfolgt, ermittelt werden. Aber man muss genau beobachten, ob der Faden im Vorwärts- oder im Rückwärtsgehen begriffen ist; denn die Wendung ist natürlich eine entgegengesetzte. Man sieht das nämliche Ende bald südöstlich, bald südwestlich drehen. Bei der südöstlichen Drehung geht der Faden vorwärts, bei der südwestlichen zurück. Es ist nicht immer leicht, über die Richtung, in welcher ein Faden sich von der Stelle bewegt, klar zu werden, namentlich wenn die Fäden dünn, und mit andern zum Theil verflochten sind; denn sie drehen sich dann oft ohne von der Stelle zu rücken; oder ihre Spitze beschreibt in Folge schiefer Stellung einen geneigten Kreis, und scheint zeitweise in entgegengesetzter Richtung zu gehen; oder der beobachtete Faden wird durch die Bewegung anderer Fäden in verkehrter Richtung fortgeschoben. Auch der Wechsel in der Drehungsrichtung stört oft. Durch längere Beobachtung des nämlichen Fadens gelingt es aber immer, sich davon zu überzeugen, dass die Drehung nur in südöstlicher Richtung erfolgt, wenn die Vorwärtsbewegung aufsteigend gedacht wird.

Die Bewegung der Schwärmzellen besteht bekanntlich in einem Vorrücken mit gleichzeitiger Drehung um die Achse. Sie ist aber, je schneller, desto unregelmässiger und dem Herumschwärmen der Infusorien ähnlicher. Bei langsamer Bewegung lassen sich einige regelmässige Verhältnisse unterscheiden. An vielen Schwärmzellen, sie mögen in einer geraden oder etwas gebogenen Linie vorwärtsgehen, bleiben das vordere und das hintere Ende ihrer Achse genau in dieser Bahn; sie schwimmen steif und ohne Schwanken vorwärts. An andern sieht man deutlich, dass sie eine gerade oder etwas gebogene Schraubenlinie beschreiben, wobei eine Drehung um die Achse immer einem Umlauf der Schraube entspricht (sodass also die nämliche Zellseite stets nach aussen gekehrt ist), und wobei ihre Achse mit der Achse der Schraubenbahn parallel läuft. Endlich gibt es noch andere Schwärmzellen, deren vorderes Ende in einer Schraubenlinie, deren hinteres aber in einer geraden Linie oder in einer Schraube von geringerem Durchmesser vorwärts geht. Die Natur der zweiten und dritten Bewegung erkennt man nur ganz deutlich, wenn sie langsam stattfinden. Sowie sie schneller werden, so erkennt man nur ein Schwanken, das besonders bei der letztern einen eigenthümlichen Character hat.

Schwärmzellen, die sich in senkrechter Richtung bewegen und dabei an das Deckglas oder an den Objectträger anstossen, zeigen ebenfalls, ehe sie zur Ruhe gelangen, drei verschiedene Bewegungen. Die einen drehen sich auf dem gleichen Punct um ihre Achse; andere drehen sich und beschreiben einen Kreis, wobei eine Achsendrehung immer auf einen Umlauf des Kreises trifft. Noch andere drehen sich um einen excentrischen, oft fast peripherischen Punct, sodass eine Seite des Umfanges am schnellsten, die gegenüberliegende am langsamsten sich bewegt. Augenscheinlich ist damit eine etwas schiefe Lage verbunden. Die Stelle, die sich am schnellsten dreht, ist die farblose Wimperstelle; das ruhende Centrum der Drehung ist das Chlorophyllkorn (Stärkekörper). Offenbar entsprechen diese drei Drehungen bei ziemlich verticaler Lage jenen drei fortrückenden Bewegungen bei horizontaler Lage der Achse.

Wir haben also mit Rücksicht auf die Drehung der Schwärmzellen (abgesehen von der Vorwärtsbewegung) drei verschiedene Typen zu unterscheiden: 1) sie drehen sich um ihre eigene Achse, 2) sie drehen sich um eine ideale Achse (die Bahn, in der sie sich vorwärts bewegen), wobei die wirkliche Achse mit der idealen Achse parallel läuft, 3) sie drehen sich um eine ideale Achse (die Bahn der Vorwärtsbewegung), wobei das vordere Ende der wirklichen Achse weiter von der idealen Achse entfernt ist als das hintere, dessen Abstand möglicher Weise gleich Null wird. — Von diesen verschiedenen Arten der Achsendrehung ist zu unterscheiden die Vorwärtsbewegung, welche in einer geraden, in einer regelmässig-gebogenen oder in einer unregelmässigen Linie erfolgen kann.

Die Bewegung der fadenförmigen Spermatozoen stimmt im Wesentlichen genau mit derjenigen der Schwärmsporen überein. Auch bei ihnen kommen die drei verschiedenen Achsendrehungen vor, und die mannigfaltigen Abweichungen von der geraden Bahn der Vorwärtsbewegung. Ich habe schon im Jahre 1844 (Zeitschrift für w. Bot.) diese Verhältnisse auseinandergesetzt. Die Regelmässigkeit der Bewegung wurde später bezweifelt, und kann in der That an lebhaft schwärmenden Fäden nicht erkannt werden. Indessen ist die Sache nicht damit abgethan, dass man die Schwärmfäden sich unter dem Microscop möglichst unregelmässig herumtummeln sieht, sie mit Infusorien vergleicht, und ihnen schliesslich noch das Epitheton »wahrscheinlich oder offenbar willkürlich« beilegt. Die Bewegung muss analysirt werden, und das ist nur möglich, indem man sie durch schwächende Mittel oder Reibungswiderstände verlangsamt oder vor dem normalen Aufhören beobachtet. Es gelingt dann immer, sich von der relativen Starrheit der Fäden, sowie von den regelmässigen Modificationen der Achsendrehung und der Vorwärtsbewegung, wie ich sie angegeben habe, zu überzeugen.

In Folge dessen ist es mir nicht im geringsten zweifelhaft, dass die Schwärmzellen und Schwärmfäden bei vollkommen regelmässiger Form, bei symmetrischer Vertheilung der Masse und bei Homogeneität des Mediums in einer geraden Linie dahinschwimmen würden, — und dass alle Abweichungen sowohl rücksichtlich der Achsendrehung als der Fortbewegungsbahn davon herrühren, dass die beweglichen Körper nicht symmetrisch gebaut sind, ihren Schwerpunct nicht im Centrum haben, und nicht ringsum gleichmässige Reibungswiderstände erfahren.

Die Drehung der Schwärmzellen und Schwärmfäden ist gewöhnlich für jede Art, Gattung oder Familie constant. So drehen sich z. B. die Schwärmzellen von Ulothrix speciosa Kg., Stigeoclonium insigne Näg., Tetraspora lubrica Kg. südwestlich (rechts im Sinne der Botaniker), die Schwärmfäden der Farrenantheridien gewöhnlich südöstlich (links im Sinne der Botaniker)*). Dagegen gibt es auch Schwärmer, die man als drehungsvage bezeichnen könnte, da sie sich bald südöstlich, bald südwestlich drehen; dahin gehören die Täfelchen von Gonium, bei denen ich die beiden Richtungen fast gleichmässig vertreten, oder die südöstliche etwas vorherrschend fand, und die kugeligen Familien von Pandorina, wo jedoch die südwestliche Richtung (Rechtsdrehung der Botaniker) überwiegt.

---

*) Schacht (Anat. und Physiol. d. Gewächse, II, 264) sagt: »Die Hauptbewegung ist die unabänderliche Drehung des Fadens um seine Achse; diese Drehung erfolgt unter dem Microscop von links nach rechts, also in der Wirklichkeit von rechts nach links.« Ich verstehe diesen Satz nicht; denn Schacht kann doch nicht sagen wollen, die unter dem Microscop erscheinende Rechtsdrehung sei in der Wirklichkeit Linksdrehung. Es gehört ja zu den Elementen der Microscopik, dass Schraube und schraubenförmige Bewegung unter dem Microscop die nämlichen bleiben (während sie im Spiegel verkehrt erscheinen), weil allerdings die Rechtsbewegung von dem Compositum in Linksbewegung, aber zugleich auch die aufsteigende Richtung in die absteigende verwandelt wird. Wenn nun aber Schacht sagt, die Drehung erfolge unter dem Microscop von links nach rechts, so würden seine Beobachtungen mit den meinigen im Widerspruch stehen, insofern er sich der Terminologie der Botaniker und nicht etwa der Mechaniker bedient.

Bei den Schwärmzellen ist es oft beinahe unmöglich, sich von der Drehungsrichtung zu überzeugen. Es scheint, als ob die nämliche Zelle bald links bald rechts drehe, und man überzeugt sich sogleich, dass eine optische Täuschung dabei im Spiele ist. Ich theile hier eine Untersuchung mit, die ich im März 1850 an Tetraspora lubrica anstellte. Von den in grosser Menge vorhandenen Schwärmzellen schien sich die Hälfte südöstlich, die andere Hälfte südwestlich zu drehen, und zwar in der Weise, dass zwei in entgegengesetzter Richtung fortschreitende Zellen auch in entgegengesetzter Richtung drehten. Die nämliche Zelle schien, wenn umbiegend, ihre Drehung zu wechseln. Alle Zellen, die sich von dem Beobachter entfernten, drehten aufsteigend-südwestlich, alle, die sich ihm näherten, absteigend-südwestlich, als aufsteigend gedacht demnach südöstlich. Indess war die Richtung, welche die Grenze zwischen der einen und der andern Bewegung bildete, nicht die von rechts nach links, sondern von links und innen (unten) nach rechts und oben (aussen). Um mich ganz deutlich auszudrücken, so will ich die 4 verschiedenen Seiten des Gesichtsfeldes mit R, L, O und U (rechts, links, obere und untere Seite des Auges) benennen, und die Richtungen nach Art der Windrose bezeichnen. Die Schwärmzellen, die von OOR nach UUL, von O nach U, von OL nach UR, von L nach R und von LLU nach RRO über das Gesichtsfeld gingen, zeigten alle aufsteigend-südöstliche Drehung (links im Sinne der Botaniker); die Schwärmzellen, die in der Richtung von UUL nach OOR, von U nach O, von UR nach OL, von R nach L, von RRO nach LLU sich bewegten, schienen alle absteigend-südöstlich, also aufsteigend-südwestlich (rechts nach botanischer Terminologie) zu drehen. Eine Zelle, die von LLU nach RRO ging, und ihre Richtung änderte, sodass sie nun von LUU nach ROO sich bewegte, änderte an der Umbiegungsstelle ihre aufsteigend-südöstliche in aufsteigend-südwestliche Drehung.

Diese Erscheinungen blieben die nämlichen, wenn der Tisch des Microscops umgedreht, wenn der Spiegel in jeder Weise verstellt, und wenn die Röhre des Microscops horizontal gelegt, somit das Gesichtsfeld in die verticale Stellung gebracht wurde. Jene scheinbaren Drehungen blieben auch die nämlichen, wenn die Zellen ganz langsam sich bewegten. — Es handelt sich hier um eine optische Täuschung, deren Grund noch räthselhaft ist.

Andere Schwärmzellen von gleicher oder geringerer Grösse zeigen ganz die nämlichen scheinbaren Bewegungen. Ihre wirkliche Drehung lässt sich mit Sicherheit nur ermitteln, wenn sie (bei horizontaler Lage des Objectträgers) in senkrechter Richtung (nach oben oder nach unten) vorrücken. Alle Zellen nun, welche bei der ebengenannten Tetraspora lubrica in der Nähe des Objectträgers sich befanden und von da gegen das Deckgläschen (also gegen den Beobachter) sich bewegten, drehten aufsteigend-südwestlich; alle dagegen, die von dem Deckgläschen nach dem Objectträger senkrecht abwärts stiegen, drehten absteigend-südöstlich, was also in die aufsteigende Lage gedacht ebenfalls südwestliche

Drehung gibt. Ich beobachtete wenigstens ein Dutzend Zellen, welche in Folge ihrer langsamen Bewegung diess sehr deutlich sehen liessen, auch solche Zellen, welche von dem Objectträger nach dem Deckgläschen gingen und wieder zurückkehrten, immer mit dem gleichen Resultat.

Um Täuschungen zu vermeiden, muss man bei Zellen, deren Achse senkrecht steht und deren Drehung man daher sehr leicht beurtheilen kann, immer sorgfältig sich überzeugen, ob dieselben nach oben oder nach unten vorrücken oder vorrücken wollen. So sieht man in der Regel, dass fast alle Schwärmzellen, die an der Fläche des Deckgläschens sich befinden, eine andere Drehung zeigen als diejenigen, die auf der Fläche des Objectträgers liegen; denn jene werden durch das Deckgläschen in ihrer Bewegung nach oben, diese durch den Objectträger in ihrer Bewegung nach unten aufgehalten; jene haben ihr vorderes Ende oben, diese unten. Bei Tetraspora lubrica zeigten dem entsprechend die meisten der an das Deckgläschen anstossenden Zellen mit senkrechter Achse südwestliche, die meisten der an den Objectträger anstossenden Zellen südöstliche Drehung. Manche dieser Zellen kamen nach kurzer Zeit zur Ruhe. Die wenigen, die mit Rücksicht auf ihre Drehungsrichtung eine Ausnahme machten, entfernten sich bald von der Oberfläche des Glases und zeigten dadurch, dass sie nicht mit dem vordern Ende das Glas berührt hatten; dass also ihre Drehung eine absteigend-südöstliche war, während die übrigen aufsteigend-südwestlich sich drehten.

An den Schwärmsporen von Ulothrix speciosa, welche langsamer oder schneller auf dem Gesichtsfelde sich herum bewegen, lässt sich die Drehungsrichtung ebenfalls nicht unterscheiden. Auch hier muss man solche beobachten, deren Achse senkrecht steht, und die mit ihrem vordern Ende an eine der beiden Glasplatten anstossen, an welcher sie sich einige Zeit herumbohren, ehe sie zur Ruhe gelangen oder durch eine Veränderung in der Bewegung sich wieder los machen. Alle gegen den Objectträger anstossenden (es wurden deren einige Hunderte gesehen) drehen südöstlich, alle an das Deckglas oder auch an die unbedeckte Oberfläche des Wassers anstossenden südwestlich. Die Wendung ist also immer, auf die senkrecht aufsteigende Bewegung bezogen, südwestlich (rechts im botanischen Sinne).

Die genannten Schwärmzellen drehen constant in gleicher Richtung, nämlich aufsteigend-südwestlich, und wenn sie umkehren, absteigend-südöstlich. Indessen bemerkt man an ihnen zuweilen auch eine entgegengesetzte Drehung, ohne dass sie dabei sich umkehren. So beobachtete ich bei Tetraspora lubrica mehrmals, dass Schwärmzellen, die am Objectträger mit senkrecht stehender Achse anstiessen, zuerst südöstlich drehten, dann eine Zeit lang stille standen, nachher südwestlich drehten und zuletzt wieder zur Ruhe kamen. Andere Zellen am Objectträger drehten südöstlich, dann südwestlich und zuletzt wieder südöstlich; und Zellen, die am Deckglas anstiessen, drehten südwestlich, dann südöstlich und zuletzt wieder südwestlich, wobei, im einen und andern Fall, zwischen zwei verschiedenen Drehungen immer ein kurzer Stillstand statt fand und zuletzt vollständige Ruhe eintrat. Diese Erscheinung fand ihre Erklärung durch eine anderweitige Beobachtung an Ulothrix speciosa.

Die Schwärmzellen und Schwärmfäden gehen mit dem vordern (wimpertragenden) Ende voran. Diess ist indess nicht ohne Ausnahme. Sie können auch kurze Zeit rückwärts gehen; und dann drehen sie sich in entgegengesetzter Richtung. Diess war sehr deutlich an den Schwärmsporen von Ulothrix speciosa. Viele derselben schwimmen vertical nach oben oder nach unten, stossen an eine der beiden Glasplatten an, und drehen sich hier nun längere oder kürzere Zeit auf der nämlichen Stelle. Einige stehen zuletzt still; andere aber machen sich wieder los, um in der Flüssigkeit herumzuschwärmen. In der Regel geschieht diess folgendermaassen. Die Zelle unterbricht plötzlich, oder nach kurzer Ruhe, ihre gewöhnliche Drehung durch 1, 2 und 3 Umläufe in entgegengesetzter Richtung. Dabei geht sie etwas zurück und entfernt sich somit vom Glas; sie ändert nun abermals, entweder plötzlich oder nach kurzem Stillstand, ihre Drehung und zugleich die Richtung ihrer Achse, und schwärmt davon mit der gewöhnlichen (südwestlichen) Drehung, und mit dem Wimperende voran. Zellen, die am Deckglas anstossen, drehen, wie schon gesagt, südwestlich, beim Zurückgehen südöstlich; Zellen am Objectträger drehen südwestlich, beim Zurückgehen südöstlich.

Wenn man sich einmal über diese Verhältnisse orientirt hat, gelingt es, die gleiche Erscheinung an Schwärmzellen zu beobachten, welche an Gegenstände, die im Wasser liegen, anstossen. Sie bohren sich an dieselben an, drehen sich eine Zeit lang, stehen still, und gehen dann mit entgegengesetzter Drehung langsam rückwärts, um nach einigen Umläufen wieder mit der gewöhnlichen Drehung und der gewöhnlichen Geschwindigkeit in einer etwas veränderten Richtung fortzuschwärmen. — Es kommt auch vor, dass die Zellen, nachdem sie rückwärts gegangen sind, wieder in gerader Richtung vorwärts gehen, und von neuem an das Glas oder an den fremden Gegenstand anstossen, worauf entweder Ruhe oder abermaliges Zurückweichen erfolgt.

Wenn ich eben von entgegengesetzter Drehung gesprochen habe, so muss ich eine Bemerkung darüber hinzufügen. Es drückt diese Benennung die Thatsache aus, dass eine Schwärmzelle, die an einen Gegenstand anstösst, abwechselnd südöstlich und südwestlich drehen kann, ohne die Lage ihres vordern und hintern Endes zu verändern. Wenn wir also nur auf die Enden Rücksicht nehmen und das wimpertragende als das vordere bezeichnen, so müssen wir von solchen Zellen sagen, dass sie ihre Drehungsrichtung wechseln. — Es findet aber, wie ich bemerkte, gewöhnlich eine langsame Rückwärtsbewegung statt, während die Zelle sich in entgegengesetzter Richtung dreht, und wenn diese Rückwärtsbewegung zuweilen nicht eintritt, so müssen wir doch eine Neigung dazu annehmen, welche wegen mechanischer Hindernisse sich nicht verwirklichen kann. Mit Rücksicht auf dieses Rückwärtsgehen ist die Drehungsrichtung eine absteigend-umgekehrte; d. h. Zellen, die mit aufsteigend-südwestlicher Drehung an ein Hinderniss anstossen, drehen sich beim Rückwärtsgehen absteigend-südöstlich. Es ist das die

Bewegung einer linken Schraube (im Sinne der Mechaniker), welche zurückgeschraubt wird. — Wir können daher von einer Aenderung in der Drehungsrichtung nur insofern sprechen, als wir das vordere (wimpertragende) Ende als das obere betrachten. Legen wir aber, was offenbar das Natürlichere und somit Richtigere ist, das Hauptgewicht auf die Richtung, in welcher die Zelle fortrückt, und denken wir uns dieselbe immer in die Lage, dass das vorangehende (bei dem Zurückweichen das hintere) Ende sich oben befindet, so haben wir für Ulothrix speciosa und Tetraspora lubrica immer die nämliche (südwestliche) Drehung.

Als allgemeines Resultat lässt sich also über die Richtung der Bewegung der Schwärmzellen aussagen: Sie gehen normal mit dem Wimperende voran und drehen sich in einer bestimmten Richtung um ihre Achse. Wenn sie an einen Gegenstand anstossen, und daselbst nicht ablenken oder unmittelbar zurückprallend umkehren, so erfolgt häufig ein Zurückweichen, wobei sie mit dem hintern Ende vorangehen und sich in absteigend-entgegengesetzter Richtung drehen. Diese Rückwärtsbewegung dauert meist nur kurze Zeit und ist immer langsamer; sie wird bald wieder durch die normale Bewegung vertauscht. Ob das Zurückgehen auch erfolgen kann, ohne dass die Schwärmzellen mit ihrem vordern Ende anstossen, ist mir unbekannt.

Nur selten beobachtet man eine Zelle, welche längere Zeit mit ihrem hintern Ende voran herumschwimmt. Ich habe diess bei Ulothrix speciosa einige Male auch in folgender Weise gesehen. Eine Zelle, die an den Objectträger anstiess, legte sich auf die Seite, und beschrieb nun rückwärts- (d. h. mit ihrem hintern Ende voran-) gehend einen Kreis. Ihre Achsendrehung war, aufsteigend gedacht, südwestlich, die Kreisdrehung dagegen südöstlich. Da die Zellen an der Fläche des Objectträgers verharrten, so waren sie offenbar durch denselben in ihrer Bewegung nach unten gehemmt. Der Kreis, den sie beschrieben, gehörte somit einer absteigenden Schraubenlinie an; die Kreisdrehung war eine absteigend-südöstliche, und stimmte in ihrer Richtung mit dem gewöhnlichen Verhalten überein.

Mit Rücksicht auf die Schnelligkeit der Vorwärtsbewegung und der Achsendrehung will ich nur Weniges beifügen. Beide stehen in einer gewissen Beziehung zu einander und werden wahrscheinlich durch eine gemeinsame Ursache bedingt; denn in der Regel steigert und vermindert sich mit der einen auch die andere. Doch sind sie innerhalb gewisser Grenzen oder unter bestimmten Verhältnissen unabhängig von einander. Es kann die eine gehemmt werden, während die andere fortdauert. Schwärmzellen, die an ein Hinderniss anstossen, bleiben stehen, fahren aber oft noch längere Zeit fort, sich um ihre Achse zu drehen. Ebenso sah ich Zellen in der Nähe des Deckgläschens oder des Objectträgers, die sich langsam vorwärts bewegten, ohne sich zu drehen. Bei Zellen, welche frei im Wasser schwimmen, scheint nie eine der beiden Bewegungen gänzlich mangeln zu können. Dagegen sieht man hier Zellen, die, bei gleich viel Drehungen in der Zeiteinheit, ungleich schnell vorwärts schwimmen, und andere, die bei gleicher Fortbewegungsgeschwindigkeit ungleich oft sich drehen.

Die gleichzeitig im Gesichtsfeld befindlichen, also gleichen äussern Bedingungen ausgesetzten Schwärmzellen der gleichen Pflanze bewegen sich übrigens mit ziemlich ungleicher Geschwindigkeit. Die Zellen von Tetraspora lubrica z. B. durchlaufen bei etwa 11° C. den Raum von ¼ Mill. in 1,2 bis 2,4 Secunden, und drehen sich, an der obern und untern Glasplatte anstossend, 1mal in 0,3 bis 1,8 Secunden.

Die Wärme beschleunigt die Bewegung. Das Licht aber scheint keinen Einfluss auf die Schnelligkeit zu haben. Es wirkt nur, insofern es der Bewegung eine bestimmte Richtung gibt. Längst bekannt ist, dass in einer Wasserschüssel die grünen Schwärmzellen sich an dem Rande sammeln, welcher dem Fenster zugekehrt ist, und dass, wenn man die Schüssel nun umdreht, sie nach dem gegenüber liegenden Rande hin ziehen. Der Entdecker dieser merkwürdigen Erscheinung, Treviranus, sagt, dass sich die beweglichen Zellen an der dem Fenster zugekehrten Schattenseite des Wassers anhäufen, und dass, wenn man sie durch Drehung der Schale in das Sonnenlicht bringe, sie sich wieder in den Schatten ziehen (Verm. Schrift. II, 54). Diess ist indess kaum der richtige Ausdruck für das Factum; es kann nicht wohl der Schatten sein, welcher die Richtung der Bewegung bestimmt. Vielmehr fragt es sich, was für einen Einfluss die Lichtstrahlen haben. Die grünen Schwärmzellen können dem Lichte entgegen schwimmen oder sie können dasselbe fliehen. Wenn nun dieselben nach dem Fenster hin ziehen, um dort sich am Schattenrande anzusammeln, so müssen sie gegen das Licht gehen, um in's Dunkel zu kommen. Auf diese Weise können die beweglichen Zellen den Schatten nicht aufsuchen wollen. Wir müssen vielmehr sagen, dass sie durch das Licht angezogen werden und dabei zufällig in den Schatten kommen. In der That, wenn man einen ganz flachen Teller mit Wasser füllt, so zieht die grüne Schwärmzellenmasse doch nach dem Fenster hin, obgleich der dortige Rand ebensogut beschienen ist, als der abgekehrte.

Diess ist ohne Zweifel auch der Grund, warum die grünen Schwärmzellen an die Oberfläche des Wassers kommen; denn sie sind spezifisch schwerer als Wasser, und von Natur zur Ruhe gelangt oder getödtet, sinken sie immer schnell auf den Grund. Um übrigens darüber in's Reine zu kommen, füllte ich eine gegen 3 Fuss lange Glasröhre mit grünem Wasser, das aus schwärmender Tetraspora lubrica bestand, und umwickelte dieselbe mit Ausnahme des untern Endes ganz mit schwarzem Papier. Die Glasröhre wurde senkrecht stehen gelassen; nur der Grund derselben war beleuchtet, und nur von hier drangen die Lichtstrahlen in den übrigen Raum ein. Nach einigen Stunden befanden sich alle Zellen in dem untern Ende, und zwar alle herumschwärmend, was man im Sonnenlicht schon mit blossem Auge und sehr gut mit einer Lupe beobachtete. Das Wasser oberhalb war farblos. Nun wurde das untere Ende umwickelt, und das obere frei gelassen. Die Schwärmzellen stiegen alsbald empor und sammelten sich an der Oberfläche des Wassers an.

Diese Thatsachen beweisen also, dass grüne Schwärmzellen sich nach dem Lichte hin bewegen, dass sie desswegen an die Oberfläche des Wassers kommen und sich hier an demjenigen Rande ansammeln, von woher das Licht einfallt. Indessen ist damit der Einfluss des Lichtes nicht erschöpft: zuweilen scheint derselbe modificirt zu werden. Neben der häufig zu beobachtenden Thatsache, dass die Schwärmzellen sich an dem Fensterrande der Wasseroberfläche anhäufen, findet man oft Wasserschüsseln, in denen sie die ganze Oberfläche bedecken. An der im März 1850 untersuchten Tetraspora lubrica machte ich folgende Beobachtungen. Die grüne Gallertmasse wurde in eine mit Wasser gefüllte Schüssel gesetzt, auf deren Grunde sie liegen blieb. Bald verliessen einzelne Schwärmzellen die Gallerte, kamen an die Oberfläche und häuften sich an der dem Fenster zugekehrten Seite der Wasserschüssel an; diess dauerte den ganzen ersten Tag fort. Besonders lebhaft musste aber das Schwärmen während der folgenden Nacht oder mit Tagesanbruch stattfinden; denn am andern Morgen war die ganze Oberfläche des Wassers mit einer dünnen grünen Haut von zur Ruhe gekommenen Schwärmzellen bedeckt. Diese Haut wurde weggenommen. Den Tag über schwärmten nur wenige Zellen, und gingen wie am vorigen Tage an den dem Lichte zugekehrten Rand. In der zweiten Nacht bildete sich wieder eine grüne Haut; und die gleichen Erscheinungen wiederholten sich, bis aus der Gallerte alle Zellen ausgeschwärmt waren. Auf dem Grunde der Schüssel und an den Seitenwandungen befanden sich keine oder äusserst wenige Zellen. — Dieser gleiche Versuch wurde mehrmals wiederholt. Er dauerte 4 bis 7 Tage, je nach der Zimmertemperatur.

Für die Thatsache, dass die Nachts oder früh Morgens schwärmenden Zellen die ganze Oberfläche des Wassers mit einer Haut überzogen, konnte man zwei Erklärungen geben: 1) der Einfluss der geringen Lichtmenge sei nicht hinreichend gewesen, um die Bewegung zu bestimmen; 2) was mir viel wahrscheinlicher vorkommt, die Schwärmzellen haben sich, als sie zur Ruhe gelangten, in eine einfache Schicht ausgebreitet, und wegen ihrer grossen Menge die ganze Oberfläche des Wassers eingenommen. Ich werde später noch von der Eigenthümlichkeit der Schwärmzellen, sich beim Uebergang in den Ruhezustand an die Oberfläche des Wassers zu hängen, sprechen. Dabei bilden sie immer, wenn sie auch noch so gedrängt liegen, eine einfache Schicht. Wenn daher eine Wasserfläche ganz mit ruhenden Schwärmzellen bedeckt ist, so ist damit nicht gesagt, dass dieselben überall da, wo sie sich befinden, zur Ruhe gelangt seien. Sie sind möglicher Weise nur an einzelnen Stellen an die Oberfläche gekommen, und haben fortwährend diejenigen, welche früher sich daselbst ansetzten, verdrängt.

Wenn man die grünen Schwärmzellen unter dem Microscop zur Ruhe kommen lässt, so setzen sie sich an dem untern und dem obern Glas fest. An jenem befindet sich aber stets eine viel grössere Zahl als an dem andern. So zählte ich auf dem ganzen Raume des Gesichtsfeldes am Objectträger 110, am Deckglas 10, ferner an jenem 85, an diesem 5, ferner an jenem 235, an diesem 21, endlich an jenem 30, an diesem 3 Zellen von Tetraspora lubrica; im Mittel also 92 Prozent am untern, 8 Prozent am obern Glas. Bei einigen andern Beobachtungen an der nämlichen Pflanze ergab sich immer das Verhältniss 90 bis 93 und 10 bis 7 Prozent. — Ganz das gleiche Resultat haben später die Schwärmsporen von Ulothrix speciosa geliefert. Für diese Erscheinung liessen sich zwei Erklärungsgründe denken. Erstlich kann das Licht die Ursache sein. Unter dem Microscop bewegen sich die Zellen nach allen Seiten, rechts, links, nach vorn, nach hinten, nach unten, nach oben, — ohne Zweifel, weil die Lichtstrahlen von allen Seiten herkommen. Indessen fällt das meiste Licht von unten ein, und in der That sieht man gewöhnlich während des Schwärmens viel mehr Zellen am Objectträger als am Deckgläschen. Es könnte diess der Grund sein, warum zuletzt, wenn die Bewegung aufgehört hat, 9mal mehr Zellen unten als oben liegen. — Indessen wäre es zweitens auch möglich, dass viele im Augenblick, wo sie zur Ruhe kommen, nicht hinreichend fest an dem obern Glas adhäriren, und desswegen in Folge ihres grössern spezifischen Gewichtes zu Boden sinken. Es wäre möglich, dass sie überhaupt nicht so leicht am Glas sich aufhängen als z. B. an der freien Wasseroberfläche.

Ich brachte daher Schwärmzellen von Tetraspora lubrica auf einen Objectträger ohne Deckglas, und liess sie unter dem Microscop zur Ruhe kommen. Das Resultat war hier das nämliche. Sehr wenige Zellen kamen schwärmend an die Oberfläche des Wassers; eine viel grössere Zahl befand sich am Objectträger; und als die Bewegung aufgehört hatte, waren dort wieder 90 Prozent oder mehr, und kaum 10 Prozent an der Oberfläche des Wassers. Ulothrix speciosa verhielt sich ganz gleich. — Da nun die zur Ruhe gelangenden Schwärmzellen sehr leicht an die Oberfläche des Wassers sich anheften, so schien ihr fast vollständiger Mangel an dieser Stelle nur aus der Thatsache sich zu erklären, dass wegen des vorzugsweise von unten einfallenden Lichtes sie zu jeder Zeit, auch unmittelbar vor dem Aufhören der Bewegung nur in geringer Zahl nach oben gehen.

Ich stellte mit Tetraspora lubrica zwei weitere Versuche in folgender Weise an. Ich brachte auf 2 Objectträger Wasser mit Schwärmzellen, ohne dasselbe zu bedecken, und legte beide auf 6 Mill. hohe Unterlagen, den einen aufrecht, den andern verkehrt, so dass dort der Wassertropfen auf dem Glase ruhte, hier durch Adhäsion an seiner untern Fläche hing. Die Unterlagen befanden sich auf einem dunkeln Tisch; die Schwärmzellen erhielten also jedenfalls das meiste Licht von oben. Nach einer Stunde waren alle zur Ruhe gekommen. An beiden Präparaten lagen weitaus die meisten auf dem Grund, beim ersten Präparat auf dem Objectträger, beim zweiten auf der freien untern Oberfläche des hängenden Wassertropfens. Nur wenige befanden sich oben, beim ersten Präparat an der Oberfläche des Wassers, beim zweiten an dem Objectträger. — Ich hatte ein anderes Resultat erwartet. Das stärkere, von oben her wirkende Licht hätte doch wenigstens die Hälfte aller Schwärmzellen oder mehr nach oben ziehen sollen.

Einen andern Versuch machte ich noch mit Ulothrix speciosa. Ein Objectträger mit einem unbedeckten Wassertropfen voll Schwärmsporen wurde auf den mit einem grünen Tuch überzogenen Tisch gelegt. Von den zur Ruhe gekommenen Zellen befand sich die etwas grössere Hälfte an der Oberfläche des Wassers, die etwas kleinere auf dem Objectträger. Auch hier hätte man vermuthen sollen, fast alle oben zu finden.

Bei Ulothrix speciosa wurden ferner zwei Beobachtungen gemacht, die ebenfalls eine Modification des Lichteinflusses beweisen. Ein Objectträger mit einem unbedeckten Wassertropfen, in welchem sich viele Schwärmzellen befanden, wurde unter das Microscop gebracht. Bald sammelten sich alle an dem innern (dem Fenster ab-, dem Zimmer zugekehrten) Rande an. Der Objectträger wurde umgedreht, so dass die Zellen am äussern Rande des Wassers sich befanden; das Resultat war, dass sie wieder alle an den innern gingen. Man konnte sehr schön beobachten, wie die Schwärmzellen mit ziemlich paralleler Richtung von dem Fenster nach dem Zimmer hin eilten. Das Umdrehen wurde noch einige Male wiederholt, bis die Bewegung aufhörte. Der Erfolg war immer derselbe, es mochte Licht vom Spiegel auf den Objectträger fallen oder nicht.

Es wurde nun eine Glasplatte, die mit Wasser und Schwärmzellen bedeckt war, ohne Deckglas auf das grüne Tuch des Tisches gelegt und liegen gelassen, bis das Schwärmen vorbei war. Die zur Ruhe gelangten Zellen befanden sich in ihrer grossen Mehrzahl an dem innern (dem Zimmer zugekehrten) Rande des flachen Wassertropfens. Ein kleinerer Theil derselben war über seine Fläche zerstreut, und verminderte sich von innen nach aussen. An dem äussern (dem Fenster zugekehrten) Rande des Wassertropfens mangelten die Sporen ganz.

Diese Thatsachen beweisen, dass der Satz, die grünen Schwärmzellen bewegen sich nach dem Lichte hin, jedenfalls Beschränkungen erfahren muss. Fernere passend angestellte Versuche werden darüber Aufklärung geben können.

Ich habe wiederholt der Thatsache erwähnt, dass die Schwärmzellen, zur Ruhe gelangend, sich an die Oberfläche des Wassers ansetzen. Ich erlaube mir noch eine Bemerkung über diese höchst interessante Erscheinung. Grössere Pflanzen steigen im Wasser empor, getragen von dem Gas, das in den Lufträumen abgesondert wird. Microscopische (kugelige oder fadenförmige) Algen erheben in ganzen Massen sich an die Oberfläche, getragen von Sauerstoffblasen, die sie ausgeschieden haben. Den Schwärmzellen hängt kein auch noch so kleines Gasbläschen an; ihre Schwere wird bloss von der bewegenden Kraft überwunden. Zur Ruhe gelangt, müssen sie auf den Grund fallen, wenn nicht etwas sie an der Oberfläche festhält. Diess ist, um mich dieses Ausdruckes zu bedienen, capillare Abstossung. Die Zellen (sowie die aus ihnen sich entwickelnden Pflänzchen) sind an der obern Seite nicht benetzt, und durch dieses Mittel an der Oberfläche des Wassers aufgehängt. Die Haut, welche durch Zusammentreten zahlloser Schwärmzellen auf dem Wasser gebildet wird, ist an ihrer äussern Fläche trocken. Der Process ist wahrscheinlich folgender. Die zur Ruhe gelangende Schwärmzelle tritt in Folge ihrer Bewegung unmittelbar an die Oberfläche, vielleicht mit einer Seite etwas über dieselbe. In Folge der Capillaranziehung würde sie aber immer wieder mit Wasser bedeckt und in die Tiefe gezogen, wenn nicht durch eine Veränderung in der nach aussen schauenden Membran, vielleicht durch Ausscheidung eines wachsartigen Ueberzugs, dieselbe bereits fettig und unbenetzbar geworden wäre, und das Wasser ringsum zurückdrängte.

Ich habe bis jetzt über die Bewegung der einzelnen Schwärmzellen gesprochen. Ich muss noch etwas über das Verhalten ganzer Massen derselben beifügen. Die erste Beobachtung darüber machte ich an einer mir unbekannt gebliebenen Pflanze. Im November des Jahres 1848 erhielt ich von A. Braun aus Freiburg ein Fläschchen mit grünem Wasser, und dazu die Bemerkung, es seien »Kugeln von der gewiss falsch bestimmten Coccochloris stagnina.« Die Kugeln waren auf der Reise in die einzelnen Zellen zerfallen, welche lebhaft schwärmten. Ich schüttete das grüne Wasser in einen flachen Teller, wo es sich alsbald klärte, indem die grüne Masse sich an den dem Fenster zugekehrten Rand hin zog (Taf. VIII, Fig. 1). Hier bildete sie eine ziemlich breite Zone (ihre Breite (*c—d*) betrug wohl den dritten Theil des Tellerdurchmessers). Unmittelbar am Rande befand sich ein intensiv grüner Streifen, welcher in der Mitte fast 4 Mill. breit war, nach rechts und links aber allmälig schmäler wurde (*a—b*). Innerhalb dieses Streifens war die grüne Zone getupft von kreisrunden Flecken, von denen jeder im Centrum intensiv grün war und ringsum nach der Peripherie hin allmälig heller wurde. Diese Tupfen waren in der Nähe des Randstreifens kleiner und gedrängter, auf der nach der Mitte des Tellers gekehrten Seite grösser und lockerer; dort betrug der Abstand der Centren etwa 6 Mill., hier etwa 12. Zwischen den grünen Tupfen war das Wasser nicht farblos, sondern gelblich. Ich wollte eine der grünen Massen mit der Pincette herausnehmen, aber sie zerfloss sogleich; und wie ich noch zwei- oder dreimal rasch nach einander mit der Pincette an verschiedenen Stellen das Wasser berührt hatte, so war die zierliche Anordnung ganz verschwunden, die getupfte Zone war homogen grün geworden. Nach 2 bis 3 Minuten hatte sich indess die frühere Anordnung in Tupfen wieder hergestellt. Das Experiment wurde noch einige Male wiederholt. Sowie das Wasser in Bewegung gesetzt wurde, so verschwanden die Anhäufungen der grünen Masse, die sich, der Ruhe überlassen, immer sofort wieder bildeten.

Eine genauere Betrachtung mit der Lupe bestätigte nun, dass jeder der grünen Tupfen aus lebhaft bewegten Schwärmzellen bestand, die nach dem Centrum sich enger zusammengedrängt hatten. Ferner zeigte sich, dass jeder derselben mit einem senkrechten, nach unten verschmälerten Fortsatz den Boden des Tellers berührte, somit eine verkehrt-kegelförmige Gestalt hatte.

Während der Nacht stand der Teller bei stürmischer, regnerischer Witterung und bei einer Temperatur von 5° C. im Freien, jedoch unter Dach. Am andern Morgen bildeten die Zellen einen grünen Bodensatz. In's Zimmer gebracht trat zwar ein grosser Theil derselben, jedoch lange nicht alle, bald an die Oberfläche, schwärmte und sammelte sich wieder zu einer grünen Zone auf der äussern (dem Fenster zugekehrten) Seite (Fig. 2). Unmittelbar an dem Rande zeigte sich wieder ein intensiv grüner Streifen (*a — b*). An die Mitte desselben (*c*) setzte sich eine baumartige Verzweigung von ebenfalls intensiv grünen Streifen an. Der Hauptstamm (*c — d*) war nach dem Centrum des Tellers (gerade nach dem Zimmer) gerichtet; rechts und links gingen Aeste ab; die äussern ziemlich unter einem rechten, die innern (obern) unter spitzen Winkeln. Die äussersten und innersten dieser Aeste waren unverzweigt oder bloss gabelig, die mittlern dagegen mehr oder weniger stark verzweigt und länger. Ausserdem gingen, rechts und links neben dieser baumartigen Verzweigung, noch kurze unverzweigte Streifen von dem Randstreifen in der Richtung von Radien ab (*a* — *c* — *b*). Das Wasser zwischen den baumartig-verbundenen Streifen war hellgrün, nach dem Umfange hin hellgelb.

Diese Anordnung blieb nicht die nämliche, sie veränderte sich während des ganzen Tages unaufhorlich, ohne jedoch den baumartigen Character zu verlieren. Die Verzweigung wurde aber einfacher und die Streifen länger und stärker. Man konnte die einzelnen Zweige und Aeste verfolgen, wie die einen sich verkürzten und zuletzt ganz verschwanden, die andern aber an der Spitze sich verlängerten.

Eine genauere Beobachtung zeigte auch hier, dass die grünen Streifen nicht bloss oberflächlich waren Dort hatten sie zwar ihre grösste Stärke; aber sie reichten mehr oder weniger tief in das Wasser hinab. Von den stärkern Aesten gingen vollständige senkrechte Wände und von den Knoten der schwächeren Verzweigungen senkrechte Stränge bis auf den Grund. Man überzeugte sich davon sowohl durch genaue Betrachtung in verschiedenen schiefen Richtungen, als durch eine leichte Bewegung des Wassers, wobei die den Boden berührenden Wände und Stränge selber in eine schiefe Lage gebracht wurden. — Diese Untersuchung konnte nicht fortgesetzt werden. Die weitere Entwickelung der zur Ruhe gelangten Schwärmzellen schien zu zeigen, dass die Pflanze einer von mir schon früher in meinen Notizen und brieflichen Mittheilungen als Tachygonium unterschiedenen Gattung beizuzählen sei, zu welcher wahrscheinlich auch Protococcus mucosus Kütz. gehört.

Eine ganz ähnliche Beobachtung machte ich im Jahre 1850 an Tetraspora lubrica. Wenn das Wasser dicht mit Schwärmzellen erfüllt und ziemlich grün war, so schieden sich rundliche Gruppen mit intensiv grünem Centrum aus. War dagegen das Wasser hellgrün, so bildeten sich intensiv grüne schmale Streifen, die bald baumartig, bald mehr netzartig verbunden, bald auch ziemlich parallel waren, und deren Richtung in überwiegender Menge von dem Fenster nach dem Zimmer ging. Auch hier beschränkten sich die rundlichen Tupfen und die Streifen nicht auf die Oberfläche des Wassers, sondern reichten 5 bis 10. Mill. tief in dasselbe hinab, indem sie nach unten dünner und heller wurden.

Ueber die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung weiss ich gar nichts beizufügen. Die Bemerkung indess halte ich nicht für überflüssig, dass offenbar nicht etwa Bewegungen und Strömungen im Wasser dieselbe veranlassen, sondern dass hier noch unbekannte Eigenthümlichkeiten der Schwärmzellen im Spiele sind, deren Wirkungsweise namentlich von der grössern oder geringern Menge derselben abhängt.

Erklärung von Tafel VIII.

Tachygonium (?) spec.

1, 2 (Natürliche Grösse). Anordnung der Schwärmzellen in Tupfen und in baumartig verzweigte Streifen, in einem mit Wasser gefüllten Teller. *a* — *b* Rand des Tellers. *c* Richtung nach dem Fenster. *d* Richtung nach dem Mittelpuncte des Tellers und nach dem Zimmer.

3 (500). Schwärmende Zellen.

4 (500). Zur Ruhe gelangte Zellen (*a*), die sich durch Theilung vermehren (*b*, *c*, *d*). *b* Gruppe von 4 Zellen ohne, *c* mit Gallerthülle. *d* Gruppe von 8 Zellen. — Grössere Gruppen sah ich keine, da die 4- und 8zähligen schon wieder in die einzelnen Zellen zerfielen.

Untersuchungen über den Flechtenthallus

von Dr. S. Schwendener.

Einige Beobachtungen an verschiedenen Flechtengattungen, durch welche ich mich von der Dürftigkeit der in den Lehrbüchern und systematischen Werken enthaltenen Angaben über die anatomischen Verhältnisse der Flechten überzeugte, gaben mir Veranlassung, diese in so mancher Hinsicht interessanten Gewächse einem genauern Studium zu unterwerfen. Die Untersuchungen, deren Resultate ich hier, soweit sie die strauchartigen Flechten betreffen, dem Publicum vorlege, wurden im Jahre 1857 begonnen und in der Folge auf die Mehrzahl der europäischen Arten ausgedehnt. Ich stellte mir dabei vorzugsweise die Aufgabe, die Typen kennen zu lernen, welche mit Rücksicht auf das Längen- und Dickenwachsthum des Thallus, die Entwickelung und Vermehrung der Gonidien und die Bildung der Soredien bestehen möchten. Apothecien und Spermogonien blieben vorläufig unberücksichtigt.

Zur theilweisen Veröffentlichung der Beobachtungen, die anfänglich nicht in meiner Absicht lag, wurde ich durch den Umstand bestimmt, dass die genauere Kenntniss der anatomischen Verhältnisse, namentlich bei den laubartigen Flechten, manche Frage veranlasste, deren Lösung den Abschluss der Untersuchungen noch längere Zeit verzögern dürfte. Ausserdem habe ich, ungeachtet der Erfolglosigkeit bisheriger Versuche, die Hoffnung noch nicht aufgegeben, auch über die Entwickelung des Thallus aus der Spore einiges Neue mittheilen zu können, und gedenke nun auch über diesen Gegenstand die Beobachtungen und Versuche mit etwas mehr Musse wieder aufzunehmen.

Bezüglich der Anordnung der Gattungen habe ich mich an kein bestimmtes System gehalten, sondern soviel als möglich die natürliche Verwandtschaft berücksichtigt, welche in den anatomischen Verhältnissen des Thallus, ohne Bezugnahme auf die Fructificationsorgane, sich ausspricht. Ebenso wurde für die wenigen Species, über deren Stellung im System die Autoren verschiedener Ansicht sind, stets diejenige Benennung gewählt, welche die Vereinigung derselben mit den zunächst verwandten möglich machte. Cornicularia aculeata findet sich z. B. als Cetraria, Cladonia vermicularis als Thamnolia aufgeführt.

Das Material zu den Untersuchungen verdanke ich der Güte meines verehrten Lehrers, Herrn Prof. Nägeli, der mir sein reichhaltiges Herbarium zur Benutzung überliess. — Einzelne seltenere Exemplare, insbesondere Repräsentanten neu aufgestellter Gattungen, wurden mir von Herrn Dr. Hepp mit freundlicher Bereitwilligkeit mitgetheilt, wofür ich ihm hiemit meinen aufrichtigen Dank ausspreche.

Usnea Hoffm.

Usnea besitzt einen stielrunden, strauchartig verästelten Thallus mit halbkugelig abgerundeten, seltener mehr oder weniger spitz zulaufenden Enden. Kocht man diese letzteren in verdünnter Kalilösung, so überzeugt man sich, dass sie aus gegliederten Zellfäden bestehen, die unter sich und mit der Achse des Thallus annähernd parallel laufen und dabei mit ihren Wandungen so fest an einander adhäriren, dass sie auch nach dem Kochen zu einem einheitlichen Ganzen verbunden bleiben. Doch gelingt es bisweilen durch längeres Erhitzen in etwas concentrirterer Kalilauge und bei Anwendung eines wiederholten schwachen Druckes auf das Deckgläschen die einzelnen Zellfäden zunächst der Spitze vollständig von einander zu trennen und sie spreizend aus einander zu legen. Sie erscheinen dann als ungemein zarte, nur wenig verästelte Fasern von etwa 2—3 Mik. Dicke, zuweilen mit deutlichen, den Scheidewänden ihrer einzelnen Zellen entsprechenden Einschnürungen, oft aber auch von durchweg gleichförmiger Dicke, ohne alle äusserlich wahrnehmbare Gliederung. Die Scheidewände treten aber auch in diesem Falle deutlich hervor, wenn man die das Präparat umspülende Kalilösung mit einer Säure neutralisirt und hierauf mit (wässeriger oder alcoholischer) Jodlösung versetzt. Der Inhalt der einzelnen Faserzellen färbt sich sodann braunroth (die bekannte Jodreaction), während die Scheidewände, wie überhaupt die Zellmembranen, farblos bleiben. Dieser Umstand macht es möglich, genaue Messungen über die Länge der Zellen anzustellen. Es ergeben sich aus denselben sowohl zwischen den Einzelwerthen für successive Zellen derselben Faser, als auch zwischen den mittleren Zelllängen verschiedener Fasern nicht unbeträchtliche Differenzen, indem die Länge der Zellen oft kaum ihrer Breite gleichkommt, während sie in anderen Fällen das Zwei- bis Drei- und Mehrfache derselben beträgt.

Die Zellfäden der Thallusspitze sind nicht genau gleich lang, d. h. ihre Enden liegen nicht in der nämlichen Ebene. Einzelne Fasern oder Faseräste, sowohl peripherische als tiefer liegende, bleiben hinter den anderen zurück, die sich dann gleich über ihren Enden zusammenschliessen. Da dieser Vorgang sich öfter wiederholt, so müssen in dem Maasse, als die Zahl der Fasern im Querschnitt kleiner wird, die noch übrig bleibenden, besonders die peripherischen, immer stärker convergiren und im Falle sämmtliche Faserenden auf ein kleines Intervall vertheilt sind, endlich bogenförmig zusammenneigen. Von der Art und Weise, wie die Fasern in der Thallusspitze endigen, hängt es überhaupt ab, ob die letztere abgerundet oder mehr oder weniger spitz zulaufend sei.

Jeder Zellfaden besitzt sowohl Scheitelwachsthum als intercalares. Ersteres geschieht durch Theilung der Scheitelzelle in eine neue Scheitelzelle und eine Gliederzelle, Dehnung der ersteren in die Länge und hierauf folgende Wiederholung desselben Processes in derselben u. s. f. Die Bildung von Scheidewänden lässt sich übrigens, wie sich bei den kleinen Dimensionen leicht begreifen lässt, nicht direct beobachten. Man sieht höchstens, dass die Einkerbungen zwischen der Scheitelzelle und der nächstfolgenden Gliederzelle, wenn überhaupt solche vorkommen, nicht überall gleich deutlich sind und manchmal so schwach, dass sich eine unlängst stattgefundene Theilung mit Wahrscheinlichkeit vermuthen lässt. Aber auch ganz abgesehen davon wird die Annahme des erwähnten Scheitelwachsthums durch folgende Thatsachen gefordert. Einmal sind die Enden der Fasern entschieden die jüngsten Theile derselben; denn die Membran ist hier viel dünner, die Dicke der Fasern beträchtlich geringer, als in grösserer Entfernung von der Spitze. Dazu kommt zweitens der Umstand, dass die Längendimension der Scheitelzelle eine gewisse Grenze nie überschreitet und in vielen Fällen kaum 4—6 Mik. erreicht. Somit müssen von Zeit zu Zeit Querwände auftreten, durch welche die jedesmalige Scheitelzelle, sobald sie diese Grenze der Ausdehnung erreicht hat, in eine neue Scheitelzelle und eine Gliederzelle getheilt wird.

Gleichzeitig mit diesen Vorgängen in der Scheitelzelle findet bis auf unbestimmte Entfernung von derselben wiederholte Theilung der Gliederzellen durch Querwände statt, wodurch ein lebhaftes intercalares Wachsthum hervorgerufen wird. Es unterliegt keiner Schwierigkeit, sich hiervon durch directe Beobachtung zu überzeugen. Färbt man nämlich den Zellinhalt mit Jodlösung, um die Dimensionsverhältnisse der Zellen besser übersehen zu können, so erscheinen einzelne derselben beträchtlich länger, als andere, und durch deutliche, oft ziemlich dicke Scheidewände von einander getrennt; der Inhalt ist in der Mitte nicht selten mehr oder weniger eingeschnürt, und in Folge dessen hier etwas weniger intensiv gefärbt, ohne dass jedoch eine wirkliche Unterbrechung stattfände. Neben diesen längeren Zellen beobachtet man kürzere, oft doppelt so kurze, bei welchen die relativen Abstände zwischen je 2 der gefärbten Inhaltsportionen häufig ganz unverkennbar auf eine paarweise Zusammengehörigkeit deuten. Ja man bemerkt zuweilen zwischen zwei längeren Zellen zwei ungefähr halb so lange, welche zusammengenommen die oben erwähnte in der Mitte eingeschnürte Form des Inhaltes zeigen, nur mit dem Unterschiede, dass hier nicht bloss eine

Einschnürung, sondern eine wirkliche, durch eine feine helle Linie angedeutete Unterbrechung wahrgenommen wird. Sowohl jene alternirend grösseren und kleineren Abstände zwischen den zugekehrten Enden des Zellinhaltes successiver Zellen, als besonders auch diese eben erwähnten zarten Trennungslinien sprechen entschieden dafür, dass auch bei den Gliederzellen ein Längenwachsthum und eine Theilung durch Querwände vorkommt. Es wird sich übrigens später Gelegenheit bieten, die Richtigkeit dieser Deutung wenigstens für die Rindenfasern auf indirectem Wege ausser Zweifel zu setzen, so wie auch über das Maass des intercalaren Wachsthums einige Schlüsse zu ziehen.

Es wurde gleich anfangs erwähnt, dass die Zellfäden, in welche die Thallusenden sich auflösen, verästelt seien. Die Aeste verlaufen den Fasern parallel; sie entstehen, so weit meine Beobachtungen reichen, nie aus der Scheitelzelle, sondern ausschliesslich aus Gliederzellen, indem sich an diesen letzteren eine seitliche Ausstülpung bildet, die sich bald darauf durch eine Scheidewand von der Mutterzelle abschnürt und von nun an dieselben Wachsthumserscheinungen zeigt, wie die Scheitelzelle des Stammes. Der so gebildete Ast kann sich in gleicher Weise wieder verzweigen u. s. f.

Da die Fasern der Thallusspitze zu einem dichten Gewebe verbunden sind und fest an einander adhäriren, so ist die Verlängerung eines Astes nur dadurch möglich, dass sich derselbe wie ein Keil zwischen den Fasern hindurchdrängt, indem er die Adhäsion der sich berührenden Membranen überwindet. Dabei lassen sich zwei Fälle denken. Entweder hält das Längenwachsthum des Astes in seiner ganzen Länge mit der intercalaren Zellentheilung der anliegenden Fasern gleichen Schritt; dann hat der Vorgang mit der Vermehrung der Zellen im Gewebe höherer Pflanzen insofern einige Aehnlichkeit, als die sich berührenden Membranen auch hier ein gleichmässiges Wachsthum zeigen. Oder es findet diese Uebereinstimmung nicht statt, dann ist die nothwendige Folge davon eine Verschiebung der neben einander liegenden Zellen in dem Sinne, dass die Flächenelemente der Zellmembranen zweier sich berührenden Fasern, die in einem gewissen Zeitpuncte sich decken, in Folge des Wachsthums an einander vorbei gleiten und sich allmälig immer mehr von einander entfernen. Der letztere Fall kommt entschieden vor, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird; der erstere ist dadurch nicht ausgeschlossen, doch kenne ich keine Erscheinung, durch welche derselbe mit Bestimmtheit nachgewiesen würde.

Was hier von Wachsthumsverhältnissen zwischen Fasern und Faserästen gesagt wurde, gilt natürlich auch für das Verhältniss der Fasern zu einander; doch scheint hier, nach der ziemlich constanten Form der Thallusspitze so wie der Thallusenden überhaupt zu schliessen, in der Regel eine ziemliche Uebereinstimmung oder richtiger eine gewisse gegenseitige Abhängigkeit sich auszusprechen, in Folge welcher die relative Lage der Faserenden in der Thallusspitze keine merklichen Veränderungen erleidet*).

---

*) Wenn ich hier von Faserästen im Gegensatz zu Fasern, also von secundären Sprossen

Unmittelbar unter der Thallusspitze (dem geometrischen Scheitel des Thallus), noch oberhalb der kürzeren Faserenden, beginnt die Bildung der kugelförmigen grünen Zellen oder Gonidien. Ihre Bildungsstätte ist eine ringförmige Zone zwischen der Thallusaxe und der Peripherie, der ersteren gewöhnlich etwas mehr genähert als der letzteren, zuweilen auch so ziemlich in der Mitte zwischen beiden. Man überzeugt sich hievon am leichtesten durch successive Querschnitte. Ehe man das Niveau der obersten Gonidien erreicht hat, bestehen dieselben nur aus quergeschnittenen Fasern, welche auch auf dem dünnsten Schnitte fest mit einander verbunden bleiben. Sodann treten, gewöhnlich schon im 2. oder 3. Schnitte, mehrere (beispielsweise 6) kreisförmig gestellte grüne Zellen auf, von allen Seiten dicht von Fasern umschlossen, insofern sie nicht selbst in tangentialer Richtung sich berühren (Taf. I. Fig. 1, 2). Oder man beobachtet einige wenige excentrisch gelegene grüne Zellen (zuweilen auch nur eine einzige), welche in gleicher Weise luftdicht zwischen die Fasern eingebettet erscheinen. Der letztere viel seltenere Fall tritt dann ein, wenn die übrigens auch hier auf eine ringförmige Zone beschränkte Bildung der Gonidien auf der einen Seite des Thallus etwas früher, also in geringerer Entfernung von der Spitze, begonnen hat als auf der anderen, so dass im Querschnitt jene bereits Gonidien zeigt, wenn sie diese noch vollständig entbehrt.

Setzen wir die Reihe der Querschnitte noch weiter fort, so erscheinen die grünen Zellen in immer grösserer Zahl, und zwar nicht mehr bloss in tangentialer Richtung neben einander, sondern auch radial hinter einander, zuweilen zu kleineren Gruppen vereinigt. Gleichzeitig entstehen in ihrer Umgebung luftführende Räume, welche bald so sehr überhand nehmen, dass die ganze ringförmige Zone, in welcher die Gonidien vertheilt sind, wegen ihres Luftgehaltes unter dem Microscop schwarz erscheint, und dass nach Verdrängung der Luft durch Erhitzen ein sehr lockeres gonidienführendes Fasergeflecht zurückbleibt. — Hiemit hat der Thallus, was die Differenzirung der Gewebe betrifft, seine vollständige Ausbildung erreicht. Tiefer geführte Querschnitte zeigen, abgesehen von Dimensionsverhältnissen, in dieser Beziehung keine Veränderungen.

Durch das Auftreten der Gonidien in kreisförmig gestellten Puncten wird die einheitliche Fasermasse der Thallusspitze in einen centralen und einen peripherischen Theil geschieden. Der Vorgang erinnert an eine ähnliche Abgrenzung in der Stammspitze der Dicotyledonen durch die Bildung der ersten Cambiumstränge. Man hat auch im einen, wie im anderen Falle dieselben herkömmlichen Benennungen für die beiden so von einander geschiedenen Partien; die innere

---

im Gegensatz zu primären spreche, so sind diese Benennungen bloss relativ. Es soll damit nicht gesagt sein, dass die in der Thallusspitze endigenden Fasern ihrerseits nicht ebenfalls secundär in Beziehung auf andere Fasern sein können, die möglicher Weise neben ihnen liegen oder auch weit hinter ihnen zurückgeblieben sind. Uebrigens ist es gar nicht unmöglich, ja in manchen Fällen sogar wahrscheinlich, dass die meisten jener Fasern wirklich schon in der ersten Anlage des Thallus dessen Scheitel gebildet haben, so dass sie also in ihrem ganzen Verlaufe von der Thallusbasis bis zur Spitze als primäre zu bezeichnen wären.

heisst bekanntlich Mark, die äussere Rinde. Obschon nun freilich zwischen dem Rinden- und Markgewebe der Dicotyledonen einerseits und beziehungsweise der peripherischen und centralen Fasermasse des hier zu untersuchenden Flechtenthallus andererseits keine weitere Aehnlichkeit besteht, als die der Lage, so trage ich doch kein Bedenken, diese Benennung beizubehalten, gerade weil bei der totalen Verschiedenheit der Gewebe eine Verwirrung der Ideen nicht zu befürchten ist. Die ausserhalb der Gonidien liegende Fasermasse heisse also **Rinde** (Rindenschicht, Corticalschicht), die innerhalb derselben liegende **Mark** (Markschicht, Medullarschicht). *)

Sehr schön tritt die Lagerung der Gonidien in der Thallusspitze auch auf Längsschnitten hervor. Bei einiger Sorgfalt gelingt es, durch einen ersten Schnitt parallel der Thallusaxe etwas weniger als die Hälfte der Thallusspitze zu entfernen und sodann durch einen zweiten in gleicher Richtung geführten Schnitt ein dünnes Mittelstück mit dem Scheitel des Thallus wegzuschneiden. Wie zu erwarten war, erscheinen hier die Gonidien symmetrisch in zwei Reihen geordnet (Taf. I. Fig. 5). Rechts und links liegen die Fasern der Rinde, in der Mitte, zwischen den beiden Gonidienreihen, die des Markes. Mark- und Rindenfasern endigen in der Thallusspitze; sie legen sich hier unmittelbar an einander an, indem sie oberhalb der Gonidien zu einer einzigen ununterbrochenen Fasermasse verschmelzen. Die obersten 4 — 5 Gonidien jeder Reihe sind luftdicht zwischen die Fasern eingebettet. Weiter unten wird der Zwischenraum zwischen Mark und Rinde allmälig breiter; die Zahl der Gonidien nimmt zu, und das lockere Fasergeflecht, welches sich zwischen denselben entwickelt hat, enthält Luft in seinen Maschen.

Die Lichenologen unterscheiden bekanntlich ausser der Mark- und Rindenschicht noch eine besondere Gonimonschicht und verstehen darunter »eine Lage von grünen kugeligen Zellen«, welche unmittelbar unter den Rindenzellen liegen. Eine solche in sich zusammenhängende Schicht grüner Zellen existirt übrigens bei keiner Flechte, am allerwenigsten bei strauchartigen Flechten. Will man diesen Ausdruck beibehalten, so hat er speziell für Usnea nur dann einen Sinn, wenn man damit den gonidienführenden Theil der lockeren, lufthaltigen Faserschicht zwischen Rinde und Markstrang bezeichnet. Die Gonidien sind allerdings stellenweise vorherrschend, können aber an andern Stellen auch gänzlich fehlen, und ohnehin sind ihre dichtesten Gruppen stets von Fasern durchflochten.

Die 3 Schichten des Thallus zeigen in ihrem fernern Verhalten so bedeutende Verschiedenheiten, dass wir jede derselben gesondert einer genauern Betrachtung unterwerfen müssen. Für die Rinden- und Markfasern ergeben sich diese abweichenden Wachsthumserscheinungen aus der Verschiedenheit der Lage; bei den Gonidien stehen sie selbstverständlich mit der eigenthümlichen Natur dieser Organe im Zusammenhang.

---

*) Zur Markschicht gehört auch das lockere Fasergeflecht, welches den centralen Medullarstrang mit der Rinde in Verbindung setzt. Da nämlich solide Markstränge auch bei Evernia vorkommen, hier aber unterhalb der Spitze, meist zu mehreren, im lockern Markgewebe entstehen, folglich nur als dichtere Partien des letzteren zu betrachten sind; da man ferner bei sämmtlichen strauchartigen Flechten das ganze von der Rinde umschlossene Gewebe, sei es dicht- oder lockerfilzig, als Mark zu bezeichnen gewohnt ist: so verlangt die Consequenz, dass man dieselbe Bezeichnungsweise auch bei Usnea in Anwendung bringe.

Die Rinde.

Die Rindenfasern und ihre Verästelungen verlaufen in der Nähe der Spitze, wie bereits erwähnt, mit der Thallusaxe parallel. Ihre einzelnen Zellen theilen sich häufig durch Querwände, wodurch ein lebhaftes intercalares Wachsthum der Thallusenden bedingt wird. Hie und da beobachtet man ganz junge Aeste, die sich zwischen den Fasern hindurch und parallel mit ihnen ihren Weg bahnen. Durch einen senkrecht zur Thallusaxe geführten Schnitt werden die einzelnen Zellfäden, wie sich bei dem longitudinalen Verlaufe derselben nicht anders erwarten lässt, ziemlich genau quer geschnitten. Die Conturen der Zellhöhlungen erscheinen auf dem Querschnitt rundlich, oft ziemlich genau kreisförmig, oder in Folge des gegenseitigen Druckes der Fasern mehr oder weniger länglich. Die Zellen sind innig mit einander verwachsen; sie bilden ein fest zusammenhängendes Gewebe ohne Intercellularräume, oft ohne deutliche Grenze zwischen benachbarten Zellen (Taf. I. Fig. 1—3).

Längs- und Querschnitte sind in diesem Stadium durchaus verschieden. Während in letzteren die Zellen ohne bestimmte Ordnung neben einander liegen, weil jede einer anderen Faser angehört, bilden sie in ersteren — entsprechend dem Verlaufe der Zellfäden — mehr oder weniger parallele Reihen (Taf. I. Fig. 7), die man nicht selten auf grösseren Strecken, zuweilen durch das ganze Gesichtsfeld, verfolgen kann, bis sie unter anderen verschwinden oder abgeschnitten sind.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in der älteren Rinde (Taf. I. Fig. 9). In welcher Richtung man hier auch den Schnitt führen mag, er gewährt immer so ziemlich dasselbe Bild. Färbt man den Inhalt der Zellen mit Jodtinctur, um die einzelnen Fasern leichter verfolgen zu können, so sieht man stets eine gewisse Anzahl derselben quergeschnitten, während andere in der Ebene des Schnittes oder schief von einer Schnittfläche zur andern verlaufen. Die meisten Fasern, die man eine grössere Strecke weit verfolgen kann, sind verästelt, die Aeste häufig wieder verzweigt. Es geht daraus hervor, dass die ältere Rinde aus vielfach verästelten, nach allen Richtungen des Raumes mit einander verflochtenen Fasern besteht, die übrigens eben so, wie in der Nähe der Spitze, ein vollkommen dichtes Gewebe, ohne alle Interstitien bilden, in welchem die Conturen der Zellmembranen oft so sehr verwischt sind, dass die Zelllumina als Höhlungen in einer gleichförmigen Masse erscheinen*).

---

*) Ein Filzgewebe ohne Intercellularräume ist bei den Flechten, wie wir in der Folge häufig genug sehen werden, keine seltene Erscheinung. Die Angabe Unger's (Anat. und Phys. der Pflanzen pag. 149), dass im Filzgewebe zwischen den einzelnen Elementartheilen nothwendig grössere oder kleinere Zwischenräume (Interstitia) entstehen, ist somit unrichtig.

Die Verzweigung der Rindenfasern tritt besonders deutlich hervor, wenn man nicht allzu dünne Schnitte mit Kali erhitzt, und sodann Jodtinctur und behufs Neutralisation des Kali eine Säure zusetzt. Das Kali dehnt die Membransubstanz etwas aus; die durch Jod gefärbten Inhaltspartien werden dadurch mehr aus einander gehalten, so dass sich die einzelnen Zellreihen auch auf ziemlich dicken Schnitten leicht verfolgen lassen.

Um die Erscheinungen zu verfolgen, durch welche das junge, aus parallelen Zellfäden bestehende Rindengewebe in dieses verworrene Fasergeflecht übergeführt wird, müssen wir abermals zu Längsschnitten oder wenigstens zu Längsansichten unsere Zuflucht nehmen. Am einfachsten erhält man dieselben, wenn man mehrere Thallusenden in Kali kocht und hierauf durch einen ziemlich starken Druck auf das Deckgläschen zerquetscht. Neutralisirt man nun das Kali mit einer Säure und setzt Jodlösung zu, so erscheinen in der Regel die einzelnen Rindenfasern hinlänglich deutlich, um die hier zu erörternden Wachsthumserscheinungen beobachten zu können. Nöthigenfalls können auch einzelne Rindenstücke durch Verschieben des Deckgläschens, verbunden mit gleichzeitigem Druck, losgerissen und frei gelegt werden; man erhält auf diese Weise Flächenansichten, die in Beziehung auf Klarheit und Deutlichkeit Nichts zu wünschen übrig lassen.

Verfolgt man nun das Rindengewebe von der Thallusspitze allmälig weiter nach unten, bis es den Character der älteren Rinde angenommen hat, so überzeugt man sich, dass die Ursache jener auffallenden Veränderung in der Verzweigung der Rindenzellen liegt. In einer gewissen Entfernung von der Spitze, die je nach dem mehr oder minder schlanken Wuchs des Thallus grösser oder kleiner ausfällt, zeigen fast sämmtliche Rindenzellen seitliche Ausstülpungen (Taf. I. Fig. 6, 8), von denen sich einige bereits durch eine Scheidewand abgeschnürt haben und als einzellige Aeste erscheinen. Diese Ausstülpungen bilden sich sowohl am oberen (der Thallusspitze zugekehrten) als am unteren Ende der Zellen, jedoch an ersterem, wie mir scheint, häufiger, als an letzterem. Man beobachtet zuweilen den Fall, dass von zwei successiven Zellen die erste am oberen, die zweite am unteren Ende auswächst, so dass die jungen Zweige einander zugekehrt sind. Nicht selten bilden sich an der nämlichen Zelle zwei Ausstülpungen, die gewöhnlich in gleicher Höhe diametral opponirt stehen. Die junge Astzelle wächst rechtwinkelig zur Längsaxe der Mutterzelle oder ist etwas nach oben oder nach unten geneigt.

Durch diese ersten Anfänge der Verästelung wird der Parallelismus der Fasern nicht gestört. Die rothbraunen Puncte, welche in der durch Jod hervorgerufenen Zeichnung den jungen Aesten entsprechen, erscheinen zwischen die ursprünglichen Reihen eingetragen, ohne deren gegenseitige Lage merklich zu ändern. Mit dem fortschreitenden Wachsthum der Aeste, die sich ihrerseits wieder verzweigen, ändert sich aber nach und nach der Character des Bildes. Die Regelmässigkeit der Reihen erleidet durch das Dazwischentreten der Verzweigungen mancherlei Störungen; überdiess wird die Zahl der ursprünglichen Faserzellen im Verhältniss zu den neu hinzugekommenen immer kleiner, so dass ihre Anordnung schon desswegen immer weniger deutlich in die Augen fällt. Endlich schwindet auch die letzte Spur paralleler Längsreihen, und die Rinde gewährt uns nur noch das Bild vielfach verästelter Fasern, die sich nach allen Richtungen des Raumes kreuzen und verflechten, ohne dass irgend eine Richtung vorherrschend vertreten wäre.

In Folge der intercalaren Zellbildung und der Verzweigung der Fasern wächst die Rinde fortwährend nach allen 3 Dimensionen des Raums: in longitudinaler, radialer und tangentialer Richtung. Das Längenwachsthum lässt sich indessen nicht genau bestimmen, man müsste denn zu Messungen an der vegetirenden Pflanze seine Zuflucht nehmen, doch bietet die Streckung der Markzellen, wovon weiter unten die Rede sein wird, einen Anhaltspunct, welcher wenigstens eine approximative Schätzung gestattet. Man gelangt auf diesem Wege zu dem interessanten Schluss, dass während der Thallus zu einer Dicke von etwa 1 Mill. M. heranwächst, ein beliebiges Flächenelement der Rinde wenigstens das Sechsfache seiner ursprünglichen Länge erreicht.

Das Dickenwachsthum ergibt sich unmittelbar aus der Vergleichung der Querschnitte. Von der Spitze bis in die Nähe der Basis steigt die Dicke der Rinde allmälig von 9, 15, 20 Mik. bis auf 80 und 125 Mik., also mehr als um das Zehnfache. Der Umfang des Thallus, respective die Ausdehnung der Rinde in tangentialer Richtung, vergrössert sich dabei in noch stärkerem Verhältniss, wie aus folgender Zusammenstellung hervorgeht.

Diameter des Thallus in Mik.	40	52	68	72	90	100	. . .	743	766	750	666	670	1500
Dicke der Rinde in Mik.	9	12	14	14	20	20	. . .	83	58	50	66	60	100

In der Nähe der Spitze, hier bis zu einer Thallusdicke von 100 Mik., bleibt sich demnach das Verhältniss zwischen den Zahlen der ersten und zweiten Reihe ziemlich gleich. Die Rinde nimmt mit kleinen Abweichungen immer ungefähr den 5. Theil des ganzen Durchmessers ein. Flächen- und Dickenwachsthum halten sich bis hieher das Gleichgewicht. Weiter nach unten bleibt das letztere hinter ersterem zurück, so dass endlich die Dicke der Rinde nur noch den 15. Theil des Thallusdurchmessers bildet. Während die Ziffern der zweiten Reihe von 9 bis 100 steigen, steigen die der ersten von 40 auf 1500. Das Wachsthum der Rinde ist demnach in tangentialer Richtung ungefähr 3mal stärker, als in radialer.

Berechnet man nach vorstehenden Angaben den Quadratinhalt des Querschnittes durch die Rinde, so ergibt sich, dass derselbe in Folge der Verästelung der Fasern und der Verdickung der Zellmembranen nach und nach um das Drei- bis Fünfhundertfache zunimmt, und selbst von dem Zeitpuncte an, wo jede Spur paralleler Fasern verschwunden ist und die Rinde als ein unregelmässiges, dichtes Filzgewebe erscheint, beispielsweise noch um das Zwanzigfache. Es gibt diess einigermaassen eine Idee davon, welch verwickeltes, unentwirrbares Geflecht am Ende die Rinde bildet.

Die Zellen der älteren Rinde besitzen zuweilen so grosse Lumina, dass dadurch das ganze Gewebe eine eigenthümliche Physiognomie erhält. Als Beispiel wurde auf Taf. I. Fig. 14 ein Querschnitt durch ein solches Gewebe dargestellt. Die Membranen sind so innig mit einander verschmolzen, dass der Raum zwischen den Zellhöhlungen ziemlich gleichförmig schattirt erscheint. Hie und da sieht man 2—3 successive Zellen einer Faser, durch dünne Scheidewände von einander getrennt und oft von anderen über oder unter ihnen liegenden Zellen gekreuzt. Einzelne Zellreihen verlieren sich in dem zwischen den Gonidien liegenden Fasergeflecht.

In anderen Fällen erscheinen die Zellen regelmässiger geordnet und bilden stellenweise, besonders im peripherischen Theil, ein schönes Parenchym. Eigenthümlichkeiten im Habitus, die von der stärkeren oder schwächeren Verdickung und Verschmelzung der Zellmembranen, von der Weite der Höhlungen, der Länge der Zellen etc. abhängen, kommen überhaupt im älteren Rindengewebe nicht selten vor; doch sind all' diese Umstände so unwesentlich, dass es mir überflüssig erscheint, weiter darauf einzugehen.

Besondere Erwähnung verdienen die warzenförmigen oder papillenförmigen Hervorragungen, womit die ältere Rinde bei gewissen Varietäten (z. B. bei U. hirta) bedeckt ist. Dieselben sind entweder ungetheilt, bis 170 Mik. und darüber lang und in ihrer Form jungen Aesten ähnlich. Oder sie sind zwei-, drei- und mehrhöckerig und über der verhältnissmässig schmalen Basis bedeutend erweitert; sie nähern sich in diesem Falle der Warzen- oder Schollenform (Taf. I. Fig. 10, 13).

Durch beliebige senkrecht zur Oberfläche des Thallus (längs, quer oder schief) geführte Schnitte überzeugt man sich, dass diese verschieden geformten Auswüchse Wucherungen des Rindengewebes sind, welche dadurch entstehen, dass die peripherischen Fasern der Rinde stellenweise in vorherrschend radialer Richtung weiter wachsen, indem sie sich auf ähnliche Weise verzweigen und verfilzen, wie es beim Wachsthum der Rinde überhaupt der Fall ist. Es entstehen dadurch zunächst hügelartige Erhebungen über die Oberfläche, die sich allmälig höher wölben und endlich — je nachdem das vorherrschende Wachsthum immer in derselben Richtung stattfindet, oder sich in der Folge auf mehrere divergirende Richtungen vertheilt — die oben erwähnte Form einfacher Papillen oder gelappter Warzen annehmen. Das Gewebe dieser Auswüchse ist anfänglich, so lange dieselben im Verhältniss zur Dicke der Rinde noch klein erscheinen, durch und durch dicht und erhält durch die Tendenz der Fasern, vorherrschend senkrecht zur Oberfläche zu wachsen, ein eigenthümlich strahliges Aussehen (Taf. I. Fig. 13), das besonders auf Durchschnitten durch warzenförmige Gebilde sehr deutlich ausgeprägt erscheint. Da nämlich die letzteren immer mit mehr oder minder verschmälerter Basis aufsitzen, und sich über derselben lappig erweitern; da sie ferner in jedem Höcker einen organischen Scheitel besitzen, nach welchem das

Wachsthum gewisser Fasern gerichtet ist, so tritt die strahlenförmige Anordnung der Zellen auf Durchschnitten nicht bloss in einem der Scheitelregion entsprechenden Kreissector, wie bei papillenförmigen Auswüchsen, sondern mit Ausnahme der Basis ringsum nach allen Richtungen des Raumes hervor: die Fasern verlaufen vom centralen Theil der Warze radienförmig nach allen Puncten ihrer Oberfläche. Dabei ist jedoch nicht zu vergessen, dass sowohl im Inneren des Gewebes, als besonders auch in der Nähe der Oberfläche — hier durch die Vergrösserung derselben nothwendig bedingt — eine häufig sich wiederholende Verästelung stattfindet und dass der öfters abweichende Verlauf der jungen Aeste die Regelmässigkeit des Bildes stets mehr oder weniger beeinträchtigt. Man hat sich also keineswegs eine genau radiale Stellung sämmtlicher Fasern, sondern bloss einen vorherrschend radialen Verlauf derselben zu denken *).

Die grösseren Rindenauswüchse dagegen sind in ihrem centralen Theile in der Regel lockerfilzig und lufthaltig. Diese Veränderung hat ihren Grund darin, dass das Flächenwachsthum des Fasergeflechtes in der Nähe der Oberfläche stärker ist, als tiefer im Innern, so dass hier nothwendig eine negative Spannung eintritt, in Folge welcher das Gewebe sich allmälig lockert und Interstitien bildet. — Diese lufthaltigen Zwischenräume stehen immer mit dem lockeren Markgewebe des Thallus in Verbindung (Taf. I. Fig. 10). Ihre Bildung beginnt nämlich schon auf der inneren Seite der Rinde, indem hier die Fasern in Folge der Ausdehnung des peripherischen Theiles zuerst aus einander treten, und schreitet überhaupt von innen nach aussen fort. Es entsteht auf diese Weise ein bald engerer, bald weiterer Kanal, der die Rinde senkrecht durchsetzt, durch die Basis der Warzen in das Innere derselben eindringt, und sich hier nicht selten zu einer grösseren Höhlung erweitert.

Wenn die Rindenauswüchse sich auf breiterer Basis entwickeln, oder wenn mehrere neben einander liegende in der Folge zusammenschmelzen, wodurch in beiden Fällen gleich von Anfang an auf einem verhältnissmässig grösseren Stück der Oberfläche ein aussergewöhnliches Wachsthum hervorgerufen wird, so nimmt der die Rinde durchsetzende Verbindungskanal so grosse Dimensionen an, dass die Erhebungen der Oberfläche auf einer Ausstülpung der Rinde zu beruhen scheinen. Insofern die Wölbung der äusseren Rindenfläche und die entsprechende Vertiefung auf der inneren fast gleichzeitig entstehen und in ihrer weiteren Entwickelung ungefähr gleichen Schritt halten, können sie in diesem Falle auch als solche betrachtet werden **).

---

*) Um sich von dem Verlauf und der Verzweigung der Fasern ein klares Bild zu verschaffen, ist auch hier die Färbung des Zellinhaltes durch Jodtinctur nach vorhergegangenem Kochen des Präparates in Kali und Neutralisation des letzteren durch eine Säure sehr zu empfehlen. Bei Anwendung eines schwachen Druckes können auf diese Weise einzelne Fasern selbst auf dickeren Schnitten leicht verfolgt werden.

**) Man könnte versucht sein, diese localen Wucherungen der Rinde als rudimentäre Aeste zu betrachten. Sie unterscheiden sich aber durch drei wesentliche Merkmale von wirklichen Aesten: 1. durch den gänzlichen Mangel von Gonidien; 2. durch die abweichende Natur ihres

Wo der Thallus mit den besprochenen Auswüchsen bedeckt ist, zeigen die Rindenfasern auch neben denselben ein vorherrschend radiales Wachsthum, und der peripherische Theil der Rinde ist daher nothwendig der jüngste. Er unterscheidet sich auch auf Durchschnitten, besonders wenn sie längere Zeit in Kali gelegen, durch seine hellere Farbe und deutlichere Zeichnung auffallend von dem grösseren inneren Theil, der wegen mancherlei Trübungen und Schattirungen etc. meist ein sehr verwischtes, unklares Bild gewährt. Kocht man nicht allzu dünne Quer- oder Längsschnitte in Kalilösung und färbt hierauf den Inhalt der Zellen (auf die wiederholt angegebene Weise) mit Jodtinctur, so tritt der radiale Verlauf der Fasern im peripherischen Theil der Rinde sehr schön hervor, und es können dann die einzelnen Fasern mit ihren Verästelungen leicht verfolgt werden. Auf Taf. I. Fig. 11^{b} sind einige derselben dargestellt. Der innere Theil des Rindengewebes erscheint auch nach dieser Behandlung bei weitem nicht so deutlich, als der äussere (Taf. I. Fig. 11). Die Zellen sind hier weniger intensiv gefärbt und die Durchsichtigkeit der Membransubstanz scheint durch eigenthümliche punctförmige Schattirungen getrübt. Bei genauerer Beobachtung stellt sich heraus, dass diese letzteren durch farblos gebliebene Zellen oder Zellreihen hervorgerufen werden, deren Inhalt sich auch durch Jodtinctur unter keinen Umständen mehr färben lässt, daher nur noch durch sein abweichendes Lichtbrechungsvermögen microscopisch wahrnehmbar bleibt.

Dieses Verhalten des inneren Theiles der Rinde führt zu dem Schluss, dass die Lebensthätigkeit der Fasern hier allgemein im Abnehmen begriffen und in einzelnen Zellen schon total erloschen ist. Die peripherischen Theile dagegen sind der Heerd einer kräftigen Vegetation geworden, welche wegen der vorherrschend radialen Richtung der Fasern vorzugsweise die Dickenzunahme der Rinde bedingt und welcher auch die besprochenen localen Wucherungen des Rindengewebes ihre Entstehung verdanken.

Um einen richtigen Begriff von der Grösse der Zellhöhlungen und der Dicke der Membran zu geben, und zugleich zur Bestätigung der Angabe, dass die peripherischen Rindenfasern vorherrschend radial verlaufen, wurde auf Taf. I. Fig. 12 ein Stück eines tangentialen Längsschnittes durch den peripherischen Theil der Rinde dargestellt. Die meisten Fasern sind ziemlich genau quergeschnitten, ihre Conturen daher annähernd kreisförmig. Nur wenige verlaufen in der Ebene des Schnittes.

Der solide Markstrang.

Der centrale Faserstrang, welcher den Hauptbestandtheil des Markes bildet, besteht in seiner ganzen Länge aus einem vollkommen dichten (interstitienlosen) Gewebe, welches sich sowohl durch seine weit dünneren und zarteren Fasern, als durch den vorherrschend longitudinalen Verlauf derselben wesentlich vom Rindengewebe unterscheidet. Während die Fasern des letzteren eine Dicke von

---

Gewebes, das selbst in der Nähe der Spitze nie aus parallelen Fasern besteht und 3. durch die Abwesenheit eines centralen Medullarstranges.

10—12 Mik. erreichen, steigt der mittlere Durchmesser der Markfasern wohl nie über 4 Mik. und ist in den dicksten Stämmen nur unbedeutend grösser, als in der Nähe der Spitze.

Der Verlauf der Markfasern ist in den Thallusenden ein ausschliesslich longitudinaler; sie werden daher durch einen senkrecht zur Thallusaxe geführten Schnitt ziemlich genau quergeschnitten. Die Zellhöhlungen erscheinen auf solchen Durchschnitten als dunkle Puncte, die ohne bestimmte Ordnung auf dem helleren, von der Membransubstanz gebildeten Grunde zerstreut sind.

Im älteren Mark kommen neben den längs verlaufenden Fasern auch quer und schief verlaufende vor. Auf Querschnitten, wo solche Abweichungen gleich in die Augen fallen, erhält in Folge dessen das Gewebe ein ganz anderes Aussehen, da die Zahl der Fasern, die in der Ebene des Schnittes oder schief von einer Schnittfläche zur anderen verlaufen, im Verhältniss zu den quer geschnittenen so gross erscheint, dass man leicht zu der irrigen Annahme geführt wird, das Mark bestehe hier aus einem höchst verworrenen Filzgewebe, in dem sich die Fasern nach allen Richtungen kreuzen und verflechten. Man überzeugt sich jedoch durch den ersten besten Längsschnitt, dass die longitudinale Richtung auch in diesem Falle die weitaus vorherrschende ist.

Die gewöhnliche Form des Markstranges ist die cylindrische oder eigentlich schwach kegelförmige; doch kommen Abweichungen, in Folge welcher der Querschnitt oval oder auch unregelmässig polygonal erscheint, keineswegs selten vor. — Auch ist seine Lage nicht immer genau central, sondern wird zuweilen durch ungleichförmige Entwickelung des lockern Markgewebes mehr oder weniger excentrisch.

Das Mark wächst sowohl in die Länge als in die Dicke. Unter Längenwachsthum verstehe ich auch hier, wie bei der Rinde, nicht die durch das Scheitelwachsthum der Thallusenden nothwendig bedingte Längenzunahme, sondern die im Innern des Markes selbst stattfindenden Wachsthumserscheinungen, in Folge welcher z. B. zwei in der Längsrichtung beliebig von einander abstehende Puncte der Oberfläche sich allmälig weiter von einander entfernen. Ein Längenwachsthum in diesem Sinne lässt sich nun sehr leicht nachweisen; es beruht aber nicht, wie bei der Rinde, auf der intercalaren Theilung der Zellen, sondern auf der Dehnung derselben in die Länge. Schon in unmittelbarer Nähe der Spitze, etwa 100—200 Mik. von derselben entfernt, beträgt die Länge der Markfaserzellen durchschnittlich 30—40 Mik., während die hier noch parallel verlaufenden Rindenfasern, sowie sämmtliche gegen den Scheitel convergirende Faserenden äusserst kurzzellig sind. Diese Thatsache führt zu dem Schluss, dass die in einem bestimmten Zeitpunct den Scheitelzellen zunächst gelegenen Gliederzellen der Rindenfasern sich wenigstens 3—4 Mal theilen müssen, bis sie um die angegebene Grösse von dem unterdessen weiter wachsenden Faserende abstehen, oder mit andern Worten, dass die Rindenzellen in einer Entfernung von 100—200 Mik. vom Scheitel bereits Gliederzellen der 2. oder 3. Generation sind.

Weiter nach unten nimmt die Länge der Markfaserzellen in etwas schwächerem Verhältniss zu. Sie steigt in der Nähe der Basis grösserer Exemplare auf 180—200 Mik., wobei indessen zu bemerken ist, dass neben diesen langen Zellen auch viele kürzere vorkommen, welche später entstandenen Verästlungen angehören.

Die Streckung der Markzellen hat schon sehr früh eine Unterbrechung des Inhaltes zur Folge. Der letztere vertheilt sich gewöhnlich zu ungefähr gleichen Theilen auf die etwas erweiterten Enden der Zelle, doch ist auch der Fall, dass kleinere Inhaltsportionen im mittleren Theil der Zelle isolirt sind, keineswegs selten. Die mit Inhalt gefüllten Enden zeigen häufig eigenthümliche Wachsthumserscheinungen. Sie stülpen sich in der auf Taf. II. Fig. 22 *c*, *d* dargestellten Weise aus und veranlassen dadurch die Bildung zweier Gabeläste, welche mit denjenigen der anstossenden Zelle in Verbindung bleiben, während die ursprünglichen Berührungsflächen sich allmälig weiter von einander entfernen. Diese Gabeläste werden zuweilen durch Scheidewände von der Mutterzelle abgeschnitten, so dass die geschlossenen Figuren, welche sie bilden, aus 3—4 Zellen bestehen. Von ihnen gehen dann auch die Verästlungen aus, welche ursprünglich am einen oder anderen Zellende entstanden waren. (Vgl. Taf. III. Fig. 23 u. 24).

Versuchen wir es, aus der Streckung der Markzellen das Verhältniss zu bestimmen, in welchem intercalares und Scheitelwachsthum zu einander stehen. Das Problem lässt sich etwa folgendermaassen formuliren: In einer steigenden Reihe von n Grössen, welche den Dimensionen der successiven Zellen primärer Markfasern entsprechen, ist das erste Glied a, das letzte Glied z und die Summe s sämmtlicher Glieder (die Thalluslänge) gegeben; wie verhält sich $na : s - na$?

Setzt man $a = 30$, $z = 180$ Mik. $= 6a$ und nimmt man ferner an, die Reihe sei eine geometrische Progression, so ergibt sich, wenn man für n einen beliebigen hohen Werth, z. B. 500 oder 1000 substituirt, folgende Proportion:

$$na : s = 0{,}359 \ldots\ldots : 1$$

In Worten ausgedrückt heisst das: die in der Spitze stattfindenden Wachsthumserscheinungen bedingen nur ungefähr den dritten Theil der ganzen Längenzunahme des Thallus. Das Scheitelwachsthum des letzteren verhält sich demnach zum intercalaren wie 1 : 2. —

Noch überraschender ist das Ergebniss, wenn man als Scheitelwachsthum bloss die Verlängerung der Scheitelzellen betrachtet. In diesem Falle muss $a = 4$ gesetzt werden, daher $z = 45a$, und man erhält:

$$na : s = 0{,}0864 \ldots\ldots : 1\ ;\ na = \tfrac{2}{23}\, s\text{*)}.$$

---

*) In diesem letzteren Falle fällt allerdings das Resultat sehr verschieden aus, wenn man statt einer geometrischen eine arithmetische Progression voraussetzt; man erhält $na = \tfrac{1}{23}\, s$. Auch im vorhergehenden Falle ergibt sich bei dieser Voraussetzung für na ein etwas geringerer Werth $= \tfrac{2}{7}\, s$. In der Natur ist naturlich weder die eine noch die andere Reihe begründet; es entspricht schon a priori keine von beiden der Vorstellung, die man sich nach dem Vorhergehenden von der Wachsthumsweise der Markzellen machen muss. Dessenungeachtet dürften die oben gefundenen Verhältnisse wenigstens annähernd mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Uebrigens braucht wohl nicht bemerkt zu werden, dass das besprochene Verhältniss hier eben so wenig als bei höheren Pflanzen ein constantes ist, indem die Streckung der Zellen bald in höherem, bald in geringerem Grade stattfindet. So ist es z. B. auffallend, dass die Markfaserzellen von Usnea longissima, trotz des ungemein schlanken Wuchses dieser Flechte, nicht über 50—60 Mik., diejenigen von Usnea hirta, florida u. a. dagegen bis 210 Mik. Länge erreichen.

Das Dickenwachsthum des Markstranges stimmt mit dem des Thallus nicht immer überein, d. h. der Durchmesser des ersteren steht in keinem bestimmten Verhältniss zur Thallusdicke. Der Zwischenraum zwischen Markstrang und Rinde ist daher bald grösser, bald kleiner. Er erreicht in manchen Fällen eine so auffallende Dimension, dass er auf Querschnitten den weitaus grössten Theil der Fläche einnimmt. — Einige genauere Angaben über diese Wachsthumsverhältnisse, auf Messungen an verschiedenen Exemplaren beruhend, finden sich in folgender Uebersicht zusammengestellt. Die Ziffern geben die Dicke des Thallus und des Medullarstranges in Mik. an.

Thallus	50	52	68	90	100	280	660	670	750	1080	1200	1360
Medullarstrang	12	12	24	30	26	140	200	300	415	310	435	370

Es genügt übrigens schon ein Blick auf die Figuren 3—5 auf Taf. I und 16—21 auf Taf. II, um sich zu überzeugen, dass die relative Dicke des Markstranges beträchtliche Schwankungen zeigt.

Da die einzelnen Markfasern sich nur wenig verdicken, so liegt der Grund der Dickenzunahme des Markes vorzugsweise in der Verästlung derselben. Die Aeste verlaufen, wie schon erwähnt, mit der Axe des Thallus annähernd parallel; sie wachsen übrigens sowohl nach unten als nach oben, indem sie sich zwischen den schon vorhandenen Fasern hindurchdrängen, und verzweigen sich in der Folge wieder. Findet dieser letztere Vorgang in der Nähe der Basis statt, und ist die Wachsthumsrichtung des Zweiges derjenigen des Astes entgegengesetzt, so entstehen H förmige Figuren, wie man sie im älteren Marke häufig beobachtet.

Die Art und Weise der Verzweigung lässt es übrigens meist unentschieden, ob eine bestimmte Faser in Beziehung auf eine andere primär oder secundär (Faser oder Faserast, Ast oder Zweig) sei und ob das Wachsthum nach der einen oder anderen Seite hin, also beispielsweise nach unten oder nach oben, stattgefunden hat. Zwar sprechen mehrere sichere Beobachtungen dafür, dass eine am oberen Ende einer Faserzelle entstandene Ausstülpung nach oben, eine am unteren Ende entstandene nach unten wächst, gleichviel ob das Wachsthum der Faser in der einen oder anderen Richtung fortschreite; allein gerade der letztere Umstand macht es bei der Ungewissheit der Entstehungsfolge der Fasern unmöglich, die Wachsthumsrichtung irgend einer einzelnen Faser zu bestimmen, wenn sich dieselbe nicht bis zu ihrem Ende verfolgen lässt.

Die Behauptung, dass die Markfasern sowohl nach unten, als nach oben wachsen, stützt sich indessen nicht bloss auf die Beobachtung ihrer Verzweigungen, sondern erhält besonders auch durch das Verhalten des Markes an den Verzweigungsstellen des Thallus, worüber weiter unten Näheres mitgetheilt werden soll, ihre Bestätigung.

Die Verästlung der Fasern findet gleichförmig in der ganzen Dicke des Markes statt, im Centrum, wie an der Oberfläche. Den Beweis dafür liefert die Thatsache, dass die oben erwähnten, durch Verästlung entstehenden Störungen im Markgewebe, die auf Querschnitten so augenfällig sind, sich ohne Unterschied auf die ganze Fläche des Schnittes erstrecken.

Von der Verästlung wohl zu unterscheiden ist die Copulation. Ich verstehe darunter das seitliche Auswachsen der Faserzellen behufs Herstellung einer innigeren Verbindung mit benachbarten Fasern. Der Vorgang findet gewöhnlich in der Weise statt, dass die Spitze einer Ausstülpung mit der Membran einer nahe liegenden Faser, welcher sie begegnet, verwächst, und dadurch auch bei letzterer die Bildung eines kleinen Auswuchses veranlasst. Wenn sich die Fasern beinahe berühren, so erscheinen die Ausstülpungen beiderseits ungefähr gleich stark; sind sie dagegen etwas weiter von einander entfernt, so ist die eine um so viel länger, als die andere. Im Uebrigen ist ihre Bildung an keine bestimmte Regel gebunden. Bald sieht man sie von dem Ende der Zelle, bald von einem beliebigen anderen Puncte derselben ausgehen; zuweilen beobachtet man auch deren 2 an der nämlichen Zelle. Eine Resorption der Scheidewand im Verbindungsast habe ich nie beobachtet. (Hiezu Taf. II. Fig, 22 *c*; vgl. Taf. III. Fig. 11, 12, 27, 28).

Die Copulation ist übrigens nicht bloss auf das Markgewebe beschränkt; ich habe sie später zu wiederholten Malen auch in der Rinde beobachtet. Es ist diess überhaupt eine im Flechtengewebe häufig vorkommende Erscheinung, durch welche offenbar der Säfteaustausch zwischen benachbarten Fasern erleichtert wird.

Die Lebensthätigkeit der Markfasern erlischt im centralen Theile des Markstranges stets früher als im peripherischen. In dem letzteren vegetiren dieselben während der ganzen Lebensdauer des Thallus fort; in ersterem zeigen sie dagegen nicht selten, besonders in der Nähe der Basis etwas dicker Exemplare, deutliche Spuren einer beginnenden Zersetzung und erscheinen auf dem Querschnitt dunkler gefärbt. Mark und Rinde stimmen also darin überein, dass in beiden das Leben der Zelle im innern Theil früher aufhört als im äussern, vorausgesetzt, dass überhaupt ein Unterschied zwischen innen und aussen sich geltend mache*).

---

*) Speerschneider (Bot. Ztg. 1854, pag. 199) kam durch seine Untersuchungen zu dem Resultate, dass die Fasern der »centralen Gewebslage« (die übrigens, beiläufig gesagt, keineswegs die »innere Rindenschicht« der Autoren ist), von der Basis bis zur Spitze sämmtlich unter sich parallel und gerade verlaufen, dass nicht eine einzige in natürlicher Lage sich quer einflechte. Er gibt ferner an, dass »einzelne Zellen oder ganze Bündel derselben oft auf eine kleine Strecke aus einander treten, wodurch in dem Gewebe eine Menge kleiner ritzenförmiger Höhlungen entstehen, die von Luft erfüllt auf Querschnitten, bei schwächerer Vergrösserung, kurze in mannigfachen Windungen gebogene Linien und dunkle Puncte darstellen.« Diese Angaben beruhen auf Täuschung. Der erste beste Querschnitt durch das ältere Mark zeigt deutlich, dass hier der Faserverlauf, obgleich vorherrschend longitudinal, doch ziemlich unregelmässig ist. Jene kurzen, in mannigfachen Windungen gebogenen Linien sind nichts anderes, als die Lumina schief und quer verlaufender Fasern; die dunklen Puncte dagegen ent-

Die Gonidien.

Die grünen Zellen oder Gonidien sind bekanntlich seitliche Bildungen der Fasern und als solche den Aesten zu vergleichen. Sie werden wie diese stets nur von Gliederzellen, nie von Scheitelzellen erzeugt und sind überhaupt in den ersten Entwickelungsstadien nicht von denselben zu unterscheiden. Der Gegensatz zwischen den beiden Sprossen tritt jedoch bald deutlich hervor. Während der Ast durch wiederholte Theilung der Zellen unbegrenzt in die Länge wächst, findet bei der Gonidienbildung in der Regel bloss eine einmalige Theilung der ersten Zelle (Basal- und Scheitelzelle zugleich) statt, so dass der Spross bloss zweizellig wird. Die Scheitelzelle schwillt hierauf kugelig an und wird zum Gonidium, während die Basalzelle sich nicht weiter verändert und einen bald längeren, bald kürzeren Stiel bildet[*]. (Taf. I. Fig. 18; vgl. Taf. V. Fig. 6).

Die Gonidien erreichen eine sehr verschiedene Grösse, die grössten 12 – 18 Mik. im Durchmesser. Aus dem Inhalte scheiden sich häufig ölartige Tropfen aus, von denen zuweilen 1 – 2 solche Dimensionen erreichen, dass sie einen grossen Theil des ganzen Lumens einnehmen. Setzt man weingeistige Jodlösung und nöthigenfalls noch irgend eine Säure zu, um eine Färbung und zugleich eine Zusammenziehung des Inhaltes zu bewirken, so treten die farblos bleibenden Tropfen als halbkugelige oder papillenförmige Erhebungen über die Oberfläche derselben hervor, und scheinen der letzteren mit flacher Basis fest aufzusitzen (Taf. I. Fig. 15 und 16). Ob dieses Verhalten durch die Gegenwart eines Primordialschlauches bedingt wird, welcher sich um die Tropfen herumzieht und dieselben an das Plasma andrückt, oder ob es bloss auf Adhäsionsverhältnissen beruht, lässt sich nicht mit Sicherheit entscheiden; doch ist das Erstere sehr wahrscheinlich[**].

---

sprechen den Höhlungen solcher, welche genau quergeschnitten sind. Luftführende Interstitien kommen im Marke von Usnea nicht, oder doch nur als seltene Ausnahme vor. Dagegen ist das Lumen der Mark- und Rindenzellen, soweit dasselbe nicht vom Protoplasma eingenommen wird, im ausgetrockneten Zustande mit Luft gefüllt.

[*] Dass die Gonidien von den Faserzellen erzeugt werden, ist eine schon von Bayrhoffer entdeckte und von Speerschneider u. A. bestätigte Thatsache. Es unterliegt auch keiner Schwierigkeit, sich durch eigene Anschauung zu überzeugen, dass sie vermittelst kurzer Stiele mit den Fasern in Verbindung stehen. Man hat zu diesem Behufe nur nöthig, beliebige Quer- oder Längsschnitte durch starken Druck auf das Deckgläschen zu zerreiben, und dadurch möglichst viele Fasern und Faserstücke zu isoliren. Die meisten Gonidien werden freilich auf diese Weise gewaltsam losgerissen, doch finden sich immerhin hie und da solche, die noch in ihrem ursprünglichen Zusammenhange mit den Fasern stehen. — Schwieriger ist die Entwickelung der Gonidien zu verfolgen. So lange sie noch als kleine Ausstülpungen der Gliederzellen erscheinen, lassen sie sich um so weniger von jungen Aesten unterscheiden, als auch diese zuweilen etwas aufgeblasen sind. Andererseits sind die kleinsten grünen Zellen so klein, dass das junge Gonidium diese Grösse bald erreicht hat. Unter solchen Umständen ist es erklärlich, dass man nur selten Gonidien sieht, die noch nicht grün gefärbt und doch deutlich als solche zu erkennen sind.

[**] Speerschneider hielt diese ölartigen Tropfen für Zellkerne, und glaubte, die Vermeh-

Von besonderer Bedeutung für die Pflanze ist die Vermehrung der Gonidien. Dieselbe geschieht durch Theilung. Die erste Scheidewand, durch welche die kugelige Zelle in zwei halbkugelige getheilt wird, liegt in einer durch den Anheftungspunct und das Centrum der grünen Zelle gelegten Ebene (Taf. I. Fig. 17 u. 18), so dass die Stielzelle mit den beiden Tochterzellen in Verbindung steht. Diese letzteren theilen sich hierauf wieder je in 2 Zellen. Die dabei auftretenden Scheidewände haben eine solche Lage, dass sie sowohl unter sich, als mit der ersten Scheidewand einen rechten Winkel bilden, und dass zudem die eine von beiden durch den Anheftungspunct der Stielzelle geht. Demzufolge sind die 4 Theilzellen tetraedrisch gestellt: drei davon stehen mit der Stielzelle in unmittelbarer Berührung; die vierte ist abgekehrt.

Die Durchschnitte der Scheidewände mit der kugelförmigen Oberfläche des Gonidiums bilden ursprünglich einen grössten Kreis und zwei grösste Halbkreise, von denen je einer die durch die beiden anderen gelegten Ebenen rechtwinklig schneidet. Durch das Wachsthum der Theilzellen, welche in Form und Grösse nach Gleichgewicht streben, erleidet indess die gegenseitige Lage der Scheidewände sehr bald eine Veränderung in dem Sinne, dass später überall, wo 3 Zellen zusammenstossen, die sie trennenden Scheidewände nirgends rechte, sondern unter sich gleiche Winkel bilden. Die Kugelfläche erscheint dann in 4 gleich grosse sphärische Dreiecke getheilt, welche die bereits bezeichnete Lage zur Stielzelle haben. (Taf. I. Fig. 19).

Gewöhnlich folgen die 3 Scheidewände sehr schnell auf einander. Es geht diess schon aus dem Umstande hervor, dass man tetraedrisch getheilte Gonidien sehr häufig, zweigetheilte dagegen verhältnissmässig selten beobachtet. Dafür spricht ferner auch die Thatsache, dass manche getheilte Gonidien nicht grösser oder nicht einmal so gross sind, als die grösseren ungetheilten, und dass die Oberfläche bei ersteren, wie bei letzteren, in den meisten Fällen ziemlich genau kugelförmig ist. Bei einer langsamen Aufeinanderfolge der Scheidewände müsste nämlich wegen des Bestrebens der Theilzellen sich abzurunden der ältesten Scheidewand eine grössere oder kleinere Einschnürung entsprechen, die in seltenen Fällen auch wirklich vorkommt.

Wenn nach der Theilung in 4 Zellen keine neuen Scheidewände auftreten, so macht sich dieses Streben nach Abrundung und Ausdehnung unverzüglich geltend. Jeder einzelnen Theilzelle entspricht in Folge dessen eine stärkere Wölbung der Oberfläche, die allmälig einen solchen Grad erreicht, dass die Zellen halbkugelig nach aussen vorspringen und die Form des Gonidiums sich dem Tetraeder nähert (Taf. I. Fig. 21). Endlich überwindet die aus derselben Ursache eintretende Spannung in den Scheidewänden die Adhäsion der Membranen und

---

rung der Gonidien bestehe »in der Hervorbildung von 4 (Tochter-) Zellen aus Kernen, deren Wandungen sich bei dem späteren Wachsthum dicht an einander legen.« Schon der Umstand, dass die vermeintlichen Kerne nach Zusatz von Jod farblos bleiben, beweist zur Genüge, dass diese Ansicht eine irrthümliche ist. — Auch die weitere Angabe, dass die gonimische Zelle auch terminal vorkomme, muss ich für unrichtig erklären.

die Theilzellen trennen sich von einander. Wie sie sich nach ihrer Trennung verhalten, ob sie, nachdem sie die gewöhnliche Grösse der Gonidien erreicht haben, sich wieder theilen, und ob vielleicht dieses Theilungsvermögen auch allen folgenden Generationen zukommt, lässt sich durch directe Beobachtung kaum entscheiden, da das einzige Merkmal, welches zuweilen primäre Gonidien sicher als solche erkennen lässt: das Vorhandensein eines kleinen Anhängsels an der Anheftungsstelle des Stieles, oft selbst bei solchen vermisst wird, welche unter dem eigenen Auge durch Druck, Verschieben etc. von ihren Stielen losgerissen wurden. Dagegen machen es allerdings andere Gründe wahrscheinlich, dass der nämliche Theilungsprocess sich unter Umständen nach der Trennung der Theilzellen in jeder derselben wiederholt. Diese Frage soll weiter unten noch näher erörtert werden.

In der Mehrzahl der Fälle geht die Theilung noch um eine Stufe weiter, indem jede der 4 Zellen sich wieder theilt. Es entstehen dadurch Gruppen von 8 Zellen, welche anfänglich die Kugelform der ungetheilten Gonidien beibehalten und dieselben auch an Grösse entweder nicht oder nur unbedeutend übertreffen. Ihr Durchmesser beträgt bloss 12—16, seltener 18—20 Mik. Die Scheidewände sind in der Regel sämmtlich sehr zart, so dass ein Unterschied in der Dicke nicht wahrgenommen wird. Dabei hat die ursprüngliche Form und Lage der Theilzellen meistens schon so grosse Veränderungen erlitten, dass ein Schluss auf die Entstehungsfolge der Wände nach vollendeter Theilung nicht mehr möglich ist[*]. Nur wenn man den Inhalt der Zellen etwas contrahirt und dadurch auch das Innere der Gruppen der Beobachtung einigermaassen zugänglich macht, lassen sich einzelne ältere Scheidewände zuweilen daran erkennen, dass sie, weil ursprünglich in der Ebene eines grössten Kreises liegend, in einer Medianlinie der zugekehrten Fläche als tief gegen das Centrum eindringende, mehr oder weniger klaffende Spalten erscheinen, während die später (nach der tetraedrischen Theilung) auftretenden Wände, weil sie stets einen grösseren oder kleineren Winkel mit dem Radius bilden, nur dann als helle Linien oder Spalten gesehen werden, wenn sie auf der zugekehrten Seite des Gonidiums eine ganz bestimmte randständige Lage haben. Sind die Gonidien noch mit den Fasern in Verbindung, so ist zwar mit der Lage der Stielzelle ein fixer Punct gegeben, in welchem jedenfalls 3 ältere

---

[*] Bei der Erwägung solcher Thatsachen kommt man unwillkürlich auf den Gedanken, es könnten möglicher Weise sämmtliche Scheidewände gleichzeitig entstanden sein. Diese Annahme würde dann auch die weitere in sich schliessen, dass diejenigen Gonidien, bei welchen wir eine Theilung in 2 oder 4 Zellen beobachten, sich später nicht mehr theilen oder nicht mehr getheilt haben würden, dass vielmehr die Zahl der Tochterzellen stets derjenigen der gleichzeitig entstandenen Scheidewände entspreche. Ob ein solcher Theilungsvorgang in einzelnen Fällen stattfindet, oder nicht, kann ich allerdings nicht entscheiden; dagegen scheint mir der Umstand, dass man zuweilen in Tochterzellen, welche noch genau tetraedrisch gestellt sind, schief verlaufende, ungemein zarte Scheidewände bemerkt, die allem Anschein nach jüngeren Ursprunges sind (Taf. II. Fig. 9 a, 10 a), und dass ferner bei Gruppen von 8 Zellen nicht selten gerade die Scheidewände besonders deutlich hervortreten, welche in entsprechender Lage auch eine Gruppe von 4 Zellen zukehren würde, das Vorkommen einer Theilung durch *successives* Auftreten der Scheidewände ausser Zweifel zu setzen.

Scheidewände zusammenstossen; allein da in diesem Falle eine Drehung weniger leicht oder fast gar nicht möglich ist, so wird jener Vortheil durch diesen Uebelstand wieder aufgewogen. — Unter diesen Umständen ist es unerlässlich, vor Allem die Anordnung sämmtlicher Theilzellen auf der Oberfläche genau kennen zu lernen, und sich dabei zugleich zu versichern, dass die vorliegende Gruppe aus der normalen Zahl von 8 Zellen besteht.

Wenn man ein in 8 Zellen getheiltes Gonidium in verschiedenen Lagen beobachtet, so fällt sogleich die mit der Lage sich ändernde Gruppirung der eben zugekehrten Theilzellen auf. Bald beobachtet man z. B. eine centrale Zelle umgeben von 5 anderen (Taf. I. Fig. 23 *a*), bald bloss 5 Zellen in der in Fig. 23 *b* gezeichneten Lage, bald auch Gruppirungen, wie sie in Fig. 23 *c* und auf Taf. II. Fig. 9, 10, 13 dargestellt sind. Durch vorsichtiges Drehen des Gonidiums wird es möglich, sich von der Lage sämmtlicher Theilzellen ein klares Bild zu verschaffen und bestimmte Zellen in den verschiedensten Lagen wieder zu erkennen. Fig. 15 auf Taf. II stellt ein auf eine Kugelfläche gezeichnetes Netz dar, welches zwar zunächst nur für einen bestimmten Fall die Lage der Theilzellen auf der Oberfläche veranschaulicht, jedoch mit Rücksicht auf alle wesentlichen Puncte — also abgesehen von Grössenverhältnissen — auch für alle übrigen normalen Fälle Geltung hat. Eine aufmerksame Betrachtung dieses Netzes zeigt, dass dasselbe aus 4 unregelmässigen Vierecken und aus eben so vielen Fünfecken besteht, in deren Winkelpuncten nie mehr als 3 Seiten zusammentreffen. Die Fünfecke bilden eine ununterbrochene Zone auf der Kugeloberfläche; eines derselben liegt auf der abgekehrten Seite, ein zweites in der Mitte der zugekehrten, die beiden übrigen symmetrisch rechts und links, etwas nach oben. Die Vierecke dagegen liegen zu beiden Seiten dieser Zone (oben und unten) paarweise beisammen. Diese Anordnung der Figuren führt zu dem Schluss, dass das Gonidium in 4 verschiedenen Lagen, so oft nämlich eine pentagonale Zelle genau zugekehrt ist, die auf Taf. I. Fig. 23 *a* dargestellte Gruppirung zeigt, in jeder anderen Lage dagegen eine abweichende Ansicht gewährt (Fig. 23 *b*, *c*); dass ferner die 4 letzten Scheidewände, welche nach stattgefundener Theilung in 4 Zellen noch auftreten, sich auf den beiden Seiten der schon vorhandenen Wände stets an verschiedenen, einander nicht entsprechenden Puncten ansetzen, also nie ein Kreuz mit denselben bilden. Bezüglich der ersteren Folgerung muss noch hinzugefügt werden, dass man trotz der gleich grossen Zahl der Vier- und Fünfecke den Fall, dass von 5 zugekehrten Theilzellen sich 4 peripherische um eine centrale gruppiren, auffallend selten beobachtet und sich nur durch Drehen von der Richtigkeit obiger Darstellung überzeugt. Es kann diess nur daher rühren, dass die den unregelmässigen Vierecken entsprechenden Scheidewände wegen ungünstiger Neigungsverhältnisse in der Regel nicht gleichzeitig als deutliche helle Linien gesehen werden.

Es lässt sich übrigens beweisen, dass wenn 8 Vier- und Fünfecke — und andere Figuren kommen hier nicht vor — auf einer Kugeloberfläche unter den gegebenen Bedingungen zu einem geschlossenen Netz verbunden sind, dieselben nothwendig in gleicher Zahl vorhanden sein müssen. Noch mehr, die gegenseitige Lage derselben kann nur eine solche sein, dass in demselben Puncte entweder 2 Fünfecke und 1 Viereck, oder umgekehrt 2 Vierecke und ein Fünfeck, nie aber 3 gleichnamige Figuren zusammenstossen. Dieser Bedingung wird Genüge geleistet, wenn jeder der 4 tetraedrisch gestellten Mutterzellen ein Viereck und ein Fünfeck entspricht; sie wird aber auch dann noch erfüllt, wenn eine oder zwei derselben je in zwei Fünfecke und dafür 1—2 andere je in 2 Vierecke getheilt erscheinen. — Hiemit sind die letzten Theilungsvorgänge in so weit bestimmt, als sie überhaupt in normalen Fällen an constante Gesetze gebunden sind*).

Wenn eine oder mehrere der 8 Zellen sich wieder theilen, was übrigens nicht häufig vorkommt, so entstehen Gruppen von 9, 10 und mehr Zellen, die man beim Drehen in der Regel leicht daran erkennt, dass in bestimmten Lagen 6 Zellen um eine centrale gruppirt sind (Taf. II. Fig. 13 *b*). Ganz sicher ist jedoch dieses Merkmal nicht, da zuweilen auch Gonidien mit der normalen Zahl von Theilzellen, wenn sie etwas platt gedrückt sind, ein ganz ähnliches Bild geben. — Ist die Zahl der Theilzellen sehr gross (Taf. II. Fig. 12), so lässt sich ihre Anordnung auf der Oberfläche nicht mehr bestimmen.

Nach beendigter Theilung streben die einzelnen Theilzellen nach der Kugelform. Sie dehnen sich beträchtlich aus, springen nach aussen vor und geben dadurch der Gruppe ein maulbeerförmiges Aussehen. Bald treten hie und da Interstitien auf, durch deren Vergrösserung allmälig eine Trennung der 8 Zellen in kleinere Gruppen von 2—4 Zellen herbeigeführt wird, die sich aber später selbst wieder in ihre einzelnen Bestandtheile auflösen. Zuweilen geschieht die Trennung in solcher Weise, dass sämmtliche Theilzellen sich in eine Ebene legen lassen, oder von selbst diese Lage annehmen, und dabei doch in tangentialer Richtung verbunden bleiben. (Vgl. Taf. III. Fig. 4—6).

Dieser Auseinandersetzung der Theilungsvorgänge mögen noch einige Bemerkungen über die Methode der Untersuchung folgen. Es handelt sich in erster Linie darum, die normale Zahl der Theilzellen festzustellen. Zu diesem Behufe hat man nur nöthig, beliebige Thallusstücke, in welchen getheilte Gonidien in grosser Zahl vorkommen, (es ist diess nicht immer der Fall) in Kali zu kochen und zu zerdrücken und hierauf so viel Säure (mit oder ohne Jodlösung) zuzusetzen, dass sich der Inhalt der Zellen stark contrahirt. Diese Behandlungsweise macht es möglich, bei günstiger Lage des Gonidiums vermöge der Durchsichtigkeit der Membranen sämmtliche Theilzellen gleichzeitig zu übersehen und sie ohne Weiteres abzuzählen. Es stellt sich dabei 8 als die normale Zahl derselben heraus; zugleich überzeugt man sich, dass im Innern der Gruppe keine Zellen vorkommen, welche die Oberfläche nicht berühren.

---

*) Die bloss mathematische Betrachtung der Sache führt allerdings zu einer grösseren Zahl von Combinationen. Es lässt sich eine Lage der Scheidewände denken, bei welcher das auf der Oberfläche gebildete Netz nicht bloss aus Vier- und Fünfecken, sondern auch aus Drei- und Sechsecken besteht. Zwei der tetraedrisch gestellten Zellen können z. B. je in ein Viereck und ein Sechseck, die 2 anderen je in 2 Vierecke getheilt sein. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass eine solche Theilung hie und da stattfindet; doch ist sie jedenfalls als Ausnahme zu betrachten. Das Vorkommen von sechseckigen Zellen ist nicht entscheidend, da möglicher Weise auch mehr als 8 Zellen vorhanden sein können.

In zweiter Linie ist die Anordnung der Theilzellen auf der Oberfläche zu bestimmen. Da das oben erwähnte Verfahren für diesen Zweck nicht mehr genügt, obschon es eine vorläufige Orientirung gestattet, so muss man zum Drehen der Gonidien seine Zuflucht nehmen. Zur Erleichterung dieser Manipulation ist es rathsam, zwischen Deckgläschen und Objectträger Papierstreifen zu legen, um beide in constanter Entfernung zu erhalten. Es gelingt dann, durch Verschieben des Deckgläschens oder durch einen schwachen Druck auf dasselbe bestimmte Gonidien langsam und nach Willkür zu drehen und sie in jeder beliebigen Stellung hinreichend lange zu erhalten.

Die Soredien.

Während der Theilung der Gonidien bleibt die Stielzelle häufig unverändert oder theilt sich höchstens in 2 oder 3 Zellen, — ein Vorgang, der keine weitere Bedeutung hat, als dass der Stiel mehrzellig wird.

In anderen Fällen dagegen zeigt dieselbe höchst eigenthümliche Wachsthumserscheinungen, welche die Bildung besonderer Organe für die ungeschlechtige Vermehrung vermitteln. Es bilden sich nämlich an der Stelle, wo der Stiel sich an das Gonidium ansetzt, 1—2 Ausstülpungen, welche zwischen den Theilzellen in das Innere der Gruppe eindringen und sich daselbst vielfach verzweigen (Taf. II. Fig. 1, 2; vgl. Taf. III. Fig. 18—21). Nach dem, was oben über die Verästlung der Rindenzellen gesagt wurde, kann es nicht auffallen, dass auch diese Verzweigung nicht nach bestimmten Gesetzen vor sich geht, sondern dass eben jede Zelle unter günstigen Umständen einen oder zwei Aeste bildet, die sich zwischen den Membranen der Theilzellen hindurch einen Weg bahnen und sich dabei wieder verzweigen. Je nachdem die Stielzelle, oder wenn deren mehrere sind, die mit dem Gonidium in Verbindung stehende Zelle eine oder zwei Ausstülpungen bildet, scheint der Stiel sich direct in das Innere der Gruppe fortzusetzen, da die Astzelle in der Richtung der Stammzelle weiter wächst, oder an der Eintrittsstelle sich dichotomisch zu verzweigen. Im letzteren Falle steht die Ebene der beiden Zweige, nach mehreren sicheren Beobachtungen an zweigetheilten und tetraedrisch getheilten Gonidien zu schliessen, senkrecht zur ersten Scheidewand.

Wenn die im Innern der Zellgruppe entstandenen Verästlungen die Oberfläche erreicht haben, so wachsen sie in der Regel auf dieser letzteren, sich dicht an sie anschmiegend, weiter. Sie verästeln sich hier wie im Innern, können auch, bei einer anderen Scheidewand angelangt, sich wieder dem Centrum zuwenden oder wenigstens einen Ast absenden, der diese Richtung einschlägt. Auf diese Weise wird nach und nach jede einzelne Theilzelle von einem förmlichen Netz von Fasern umschlossen, welches durch die fortdauernde Verästlung immer engmaschiger wird und endlich eine ringsum dicht geschlossene Hülle bildet (Taf. II. Fig. 6). Einzelne wenige Fasern wachsen in radialer Richtung weiter oder verlassen wenigstens die Oberfläche der Gonidien und verlieren sich in dem lockeren Fasergeflecht, welches den Raum zwischen Rinde und Markstrang einnimmt.

Da die Theilzellen durch die Bildung der Faserhülle etwas von einander entfernt werden, so lassen sie sich vermöge der Durchsichtigkeit der letzteren, besonders wenn das Präparat in Kali liegt, sämmtlich gleichzeitig übersehen. Im Uebrigen behalten sie anfänglich noch ihre ursprüngliche Lage bei und sind auch später, nachdem sie durch das fortschreitende Wachsthum und die Verästlung der Fasern mehr oder weniger verschoben worden, noch längere Zeit als zusammengehörig zu erkennen.

Die Entwickelung der Theilzellen scheint durch die Gegenwart der Faserhülle wesentlich beschleunigt zu werden. Sie dehnen sich rasch aus, erreichen bald die gewöhnliche Grosse der Gonidien und theilen sich hierauf wieder. Sobald die neuen Theilzellen in ein etwas vorgerückteres Stadium getreten sind und sich abzurunden beginnen, werden sie durch Faseräste, welche aus der umgebenden Hülle zwischen dieselben eindringen, auf die nämliche Weise getrennt und umflochten, wie es bei der primären Gruppe in Folge der Verästlung des Stieles der Fall war (Taf. II. Fig. 8). Indem dieser Process sich ohne bestimmte Grenze wiederholt, häufen sich allmälig die von ihren Faserhüllen umgebenen und durch dieselben zusammengehaltenen Gonidien an den betreffenden Stellen der lockeren Faserschicht so sehr an, dass sie einen bedeutenden mechanischen Druck auf die Rinde ausüben und dieselbe endlich als sogenannte «Soredien» durchbrechen.

Zufolge ihrer Entstehungsweise besteht die ganze Soredienmasse aus einem in sich zusammenhängenden Fasergeflecht, in welches die Gonidien eingebettet sind. Da jedoch die Fasern vorherrschend mit der Oberfläche der letzteren parallel laufen und sich möglichst dicht an dieselbe anlegen, so findet leicht eine Trennung in solcher Weise statt, dass die Faserwand zwischen benachbarten Gonidien sich gleichsam spaltet und jedes einzelne Gonidium seine eigene Hülle behält (Taf. II. Fig. 6). Es genügt, die Soredien mit dem Deckgläschen zu zerreiben, um solche Gonidien mit Faserhüllen in grosser Zahl zu isoliren.

Wenn man mit dem Worte Soredien die Gesammtmasse der grünen Zellen und des sie umgebenden Fasergeflechtes bezeichnet, so kann eine einzelne Zelle mit ihrer Hülle consequent ein Soredium genannt werden. Jedes Soredium hat das Vermögen, sich unter günstigen Umständen zu einer neuen Pflanze zu entwickeln und muss daher als ein Organ der ungeschlechtigen Vermehrung betrachtet werden. Die Entwickelung findet merkwürdiger Weise nicht bloss auf geeigneter fremder Unterlage, sondern sehr häufig auf der Mutterpflanze selbst statt, und führt im letzteren Falle zur Bildung jener horizontal abstehenden Aeste, wie sie bei Usnea hirta, dasypoga, longissima u. a. so häufig vorkommen und welche im folgenden Abschnitt als Soredialäste näher besprochen werden sollen.

Die Erscheinungen, in Folge welcher im keimenden Soredium allmälig ein Gegensatz zwischen Scheitel und Basis hervortritt, sind folgende. Auf der dem Lichte zugekehrten (der Unterlage abgewendeten) Seite der Faserhülle bilden sich in bekannter Weise Aeste, welche in derselben Richtung, sich dicht an einander anschliessend, weiter wachsen und in ihrem ganzen Verhalten genau mit den Fasern der Thallusspitze übereinstimmen. Sie neigen mit ihren Enden in gleicher Weise zusammen; sie verzweigen sich, erzeugen Gonidien, werden dadurch in Rinde und Mark geschieden u. s. f.; kurz sie bilden einen jungen Thallus, in welchem alle Vorgänge sich wiederholen, welche bisher Gegenstand der Betrachtung gewesen (Taf. II. Fig. 23, 24). Auf der dem Lichte abgekehrten Seite bilden sich dagegen nur spärliche Fasern, welche sich in beliebiger Richtung auf der Unterlage ausbreiten oder in dieselbe eindringen und zur Befestigung des jungen Pflänzchens dienen. — Während dieser Processe theilt sich die von der Faserhülle umschlossene grüne Zelle gewöhnlich in 4 oder 8, selten in eine grössere Zahl von Theilzellen, welche nach ihrer vollständigen Ausbildung und Trennung von den neu gebildeten Gonidien bald nicht mehr zu unterscheiden sind. Sie kann auch möglicher Weise sich nicht weiter verändern; doch weiss ich hierüber sicher nur so viel, dass sie zuweilen nach der Bildung eines deutlichen Scheitels noch ungetheilt ist.

Das häufige Vorkommen von Soredien auf der Oberfläche des Thallus gibt derselben ein eigenthümliches warzig-staubiges Aussehen (Thallus verrucoso-pulverulentus). Die Soredienhäufchen sind jedoch nicht zu verwechseln mit den oben besprochenen warzenförmigen Auswüchsen, mit denen sie zuweilen gemeinsam die Rinde bedecken. Wo letztere allein auftreten, wie dieses auf der älteren Rinde häufig der Fall ist, kann der Thallus eigentlich bloss warzig, nicht warzig-staubig genannt werden.

Die Vermehrung der grünen Zellen bei der Soredienbildung liefert den Beweis, dass auch die durch Theilung entstandenen Gonidien, welche durch keine Stielzelle mit den Fasern in Verbindung stehen, sich wieder theilen. Zwar lässt sich gegen die allgemeine Geltung dieses Satzes einwenden, dass die Theilung bei der Soredienbildung unter ganz eigenthümlichen Verhältnissen stattfinde, indem das die Gonidien umgebende Fasernetz jedenfalls von wesentlichem Einfluss sein müsse; allein es darf nicht übersehen werden, dass, da dieser allerdings unbestreitbare Einfluss sich nicht anders, als durch die Beförderung des Säfteaustausches zwischen Gonidien und Faserhüllen kund geben kann, gerade dadurch die Thatsache festgestellt wird, dass ein mit Fasern in Berührung stehendes Gonidium denselben die zu seiner Entwickelung und Theilung nöthigen Säfte zu entziehen vermag. Nun ist sicher, dass die bei der gewöhnlichen Theilung entstehenden Theilzellen nach ihrer Trennung in den Maschen des lockeren Fasergeflechtes liegen bleiben und hier jedenfalls an mehreren Puncten mit den Fasern in Berührung kommen. Es geht ferner aus der Art und Weise, wie sich die Fasern bei der Soredienbildung verhalten, unzweifelhaft hervor, dass Faseräste, die bei ihrer Entstehung die Oberfläche der Gonidien berühren, eine besondere Neigung haben, auf derselben fortzuwachsen und sich dicht an sie anzulegen. Bei der häufig vorkommenden Verästlung der Faserzellen ist es daher sehr wahrscheinlich, dass viele der isolirten Gonidien, wenn auch nicht alle, bald auf einer hinreichend grossen Fläche mit Fasern in Berührung stehen, um die zu ihrer Entwickelung und Theilung nöthigen Säfte beziehen zu können. Aber auch ganz abgesehen davon berechtigt schon die Thatsache, dass die Theilzellen nach ihrer Trennung in kleinere Gruppen, wie directe Messungen an letzteren beweisen, sich jedenfalls noch beträchtlich ausdehnen, zu dem Schlusse, dass, wo Wachsthum stattfindet, auch eine Theilung möglich ist.

Das lockere Fasergeflecht.

Die Natur des Fasergeflechtes in der Thallusspitze und die Art und Weise, wie dasselbe durch die Entwickelung der Gonidien in Mark und Rinde geschieden wird, bringen es mit sich, dass diese letzteren durch quer und schief verlaufende Fasern mit einander in Verbindung bleiben. Treten z. B. zwischen 2 Fasern, von denen die eine durch Verästlung der andern entstanden ist, Gonidien auf, so bilden sie fortan beziehungsweise Bestandtheile der Rinde und des Markes, sie bleiben aber an der Verzweigungsstelle mit einander verbunden. Möglicher Weise kann auch die nämliche Faser in einer gewissen Entfernung vom Scheitel zur Rinde, in einer anderen zum Marke gehören; sie muss daher nothwendig irgendwo von der einen zum anderen übergehen. Indem diese ursprünglichen Verbindungsfasern in dem Maasse, als der Zwischenraum zwischen Mark und Rinde durch das überwiegende Flächenwachsthum der letzteren grösser wird, sich durch Streckung der Zellen verlängern und überdiess vielfach verzweigen, bilden sie die Grundlage des lockeren Fasergeflechtes, zu dessen weiterer Entwickelung in der Folge auch die mit der Soredienbildung zusammenhängenden Wachsthumserscheinungen, so wie die Verästlungen der peripherischen Fasern des Markstranges das Ihrige beitragen. Je nachdem diese beiden letzteren Vorgänge in höherem oder geringerem Grade mitwirken, und entsprechend der stärkeren oder schwächeren Verästlung der Fasern, erscheint das Gewebe bald dichter, bald lockerer geflochten. Es ist zuweilen so locker, dass man auf dünnen Querschnitten kaum eine Spur davon sieht und die Markscheibe aus dem von der Rinde gebildeten Ringe herausfällt; in anderen Fällen so dicht, dass es im ursprünglichen Sinne des Wortes ein Filzgewebe darstellt.

So lange Markstrang und Rinde nur wenig von einander abstehen, die lockere Faserschicht daher nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, sind die Gonidien in der ganzen Dicke derselben zerstreut. Später, nachdem der Abstand grösser geworden, finden sie sich ausschliesslich im peripherischen Theile, unmittelbar unter der Rinde. Sie bilden hier, bei schwacher Vergrösserung betrachtet, eine intensiv grüne jedoch nicht ununterbrochene Zone, welche nach aussen vom Innenrande der Rinde begrenzt wird, während sie nach innen in unregelmässigen Zacken in das luftführende Filzgewebe vorspringt.

Diese Lagerungsverhältnisse führen zu dem Schluss, dass die Gonidien auch in der Nähe der Spitze, wo sie noch dicht zwischen Rinde und Mark eingekeilt sind, nicht dem Marke, sondern der Rinde aufsitzen; denn nur durch diese Annahme lässt sich das allmälige Grösserwerden des Abstandes derselben vom Markstrang auf eine befriedigende Weise erklären.

Das lockere Markgeflecht stellt eine directe Verbindung zwischen Markstrang und Rinde her. Einzelne Fasern lassen sich häufig von der Oberfläche des ersteren bis zum Innenrand der letzteren verfolgen. Die Faserzellen sind kürzer als diejenigen des Markstranges, doch immerhin so lang, dass sich der Inhalt auf die beiden Enden vertheilt. Der mittlere Theil des Lumens ist im trockenen Zustande mit Luft gefüllt.

Die Verästlungen des Thallus.

1. Dichotomie.

Wenn die Fasern der Thallusspitze ihre Wachsthumsrichtungen dergestalt ändern, dass sie nicht mehr nach dem nämlichen Puncte, sondern nach 2 verschiedenen Puncten convergiren, und folglich auch in 2 verschiedenen Richtungen weiter wachsen, so entsteht eine wahre Dichotomie. Diese Art der Verzweigung, die übrigens nicht gerade häufig vorkommt, ist somit in Beziehung auf den Verlauf der Fasern dadurch characterisirt, dass dieselben direct in die beiden Gabeläste übergehen, als ob die Spitze durch eine durch die Axe gelegte Ebene halbirt worden wäre. Zu diesem anatomischen Merkmal kommt noch das weitere morphologische, dass die beiden Zweige zwar einen veränderlichen, gewöhnlich jedoch ziemlich spitzen Winkel mit einander bilden (Taf. II. Fig. 16), während die in den folgenden Abschnitten zu besprechenden Adventiv- und Soredialäste entweder senkrecht, oder doch annähernd senkrecht zur Stammaxe stehen. (Fig. 17, 19, 20).

Von dem Augenblicke an, da die Fasern der Thallusspitze sich in zwei deutliche Scheitel gesammelt haben, schreitet die Entwickelung in jedem derselben in gleicher Weise fort, wie es im Vorhergehenden für den Thallus im Allgemeinen angegeben wurde. Besondere Erwähnung verdient nur das Verhalten des Markes an der Verzweigungsstelle. Da dasselbe erst durch das Auftreten der Gonidien von der Rinde geschieden wird und die Scheidelinie den Umrissen des Thallus, wie sie sich in der Spitze zum Voraus gestalten, in ziemlich constanter Entfernung folgt, so lässt sich erwarten, dass der Medullarstrang in ähnlicher Weise gabelig getheilt erscheine, wie der ganze Thallus. Diess ist auch wirklich der Fall. Und zwar treten die Markfasern, so lange die Gabelzweige noch jung sind, so aus einander, dass die ganze eine Hälfte des sich theilenden Markes den einen Zweig, die andere Hälfte seinen Bruderzweig durchzieht, folglich eine Kreuzung der Fasern nicht stattfindet. Wenn wir von oben nach unten fortschreiten, können wir auch sagen, die Markstränge der beiden Gabeläste seien unterhalb der Verzweigungsstelle so mit einander verschmolzen, als ob sie mit ihren zugekehrten Flächen sich dicht an einander angelegt hätten.

Anders gestalten sich die Verhältnisse im älteren Marke. Wenn der Winkel, den die beiden Zweige einer Dichotomie mit einander bilden, nicht allzu klein ist, so erscheinen die peripherischen Fasern der beiden Stränge an der Verzweigungsstelle gekreuzt, und zwar sieht man deutlich, wie die Fasern des einen mehr oder weniger tief im Innern des andern endigen (Taf. II. Fig. 16). Es geht aus dieser Thatsache unzweifelhaft hervor, dass die sich kreuzenden Fasern von oben nach unten wachsen und die Richtung des Zweiges, dem sie angehören, auch im Marke des anderen beibehalten. — Bilden dagegen die beiden Zweige einen sehr kleinen Winkel, so ist die oben erwähnte Kreuzung entweder gar nicht bemerkbar, oder doch lange nicht so augenfällig. Die nach unten wachsenden Fasern eines Stranges scheinen in diesem Falle, sobald sie mit denen des anderen Stranges zusammentreffen, von ihrer Richtung mehr oder weniger abgelenkt zu werden, so dass sie sich nur in geringem Grade gegenseitig durchdringen.

Uebrigens muss bemerkt werden, dass auch unter den günstigsten Umständen die Zahl der Fasern, welche sich an der Verzweigungsstelle kreuzen, im Verhältniss zur Dicke des Markes so auffallend klein ist, dass man an dem häufigen Vorkommen nach unten wachsender Fasern zu zweifeln versucht wird. Wenn man aber erwägt, dass von allen diese Richtung einschlagenden Fasern nur diejenigen, welche auf der Oberfläche der beiden Markstränge liegen, und auch von diesen nur die einander zugekehrten eine Kreuzung eingehen, während alle im Innern des Markes entstehenden in der Richtung der sie umgebenden Fasern weiter wachsen, so erscheint es ganz natürlich, dass die sich kreuzenden Fasern nur einen kleinen Bruchtheil der sämmtlichen Verästlungen darstellen, auf welchen das Dickenwachsthum des Markes beruht.

Betreffend das Verhalten der Rinde bemerke ich nur, dass sie in Folge ihres fortschreitenden Flächenwachsthums in dem von den zugekehrten Seiten der Gabeläste gebildeten Winkel mehr oder weniger runzelig wird und dann etwas weiter als sonst von der entsprechenden Stelle des Markes absteht (Taf. II. Fig. 16). — Eine Kreuzung der Fasern ist aus dem einfachen Grunde nicht bemerkbar, weil die Rinde sehr bald sich zu einem verworrenen Filzgewebe entwickelt.

2. Die Adventiväste

Mit diesem Namen bezeichne ich diejenigen Verzweigungen des Thallus, welche in beliebiger Entfernung von der Spitze aus der Rinde entspringen (Taf. II. Fig. 17). Sie verdanken ihren Ursprung der Verästlung peripherischer Rindenfasern und unterscheiden sich von den oben besprochenen warzenförmigen Auswüchsen, welche auf ähnliche Weise entstehen, schon in den jüngsten Stadien durch die grössere Feinheit und den Parallelismus der Fasern. Beides Merkmale, auf welchen vorzugsweise die Physiognomie der Thallusenden beruht. Sobald die erste Anlage eines Adventivastes gebildet ist, legen sich die in derselben Verticale und in der Nähe der Oberfläche von unten nachwachsenden oder von oben heruntersteigenden Faseräste an dieselbe an und wachsen in der Richtung des jungen Astes weiter. Der letztere erhält dadurch eine etwas eigenthümliche Form: er sitzt der Oberfläche der Rinde mit breiter Basis auf und erscheint gegen den Scheitel mehr oder weniger kegelförmig zugespitzt. Diese Verstärkung der Astanlage durch nachwachsende Rindenfasern findet übrigens nur so lange statt, als die sämmtlichen Verästlungen der letzteren in longitudinaler Richtung verlaufen; sie unterbleibt vollständig, wenn der Adventivast in einer Entfernung von der Thallusspitze entsteht, wo die Rinde bereits den Character eines verworrenen Filzgewebes angenommen hat. Der junge Ast ist in diesem Falle deutlicher von der Thallusoberfläche abgegrenzt, erscheint aber dessenungeachtet wegen der vielen Fasern, welche unterhalb des Scheitels in sehr verschiedener Höhe endigen, nicht selten in gleicher Weise kegelförmig zugespitzt und erhält erst nach und nach die gewöhnliche Form der Thallusenden.

Da sich bei der Bildung der Adventiväste bloss die peripherischen Rindenfasern betheiligen, so erscheint die Rinde auf Längsschnitten, welche in radialer Richtung durch die Mitte einer eben entstandenen Astanlage geführt werden, in ihrem inneren Theile vollständig unverändert. Die weitere Entwickelung des Adventivastes, dessen Basaltheil in den oberflächlichen Theil der Rinde eingreift, verursacht jedoch bald eine überwiegende Ausdehnung dieses letzteren und in Folge dessen eine Lockerung und Trennung der tiefer liegenden Rindenfasern. Es entstehen auf diese Weise ähnliche Vertiefungen auf der Innenfläche der Rinde, wie bei der Bildung der warzenförmigen Wucherungen: das Gewebe öffnet sich, um den Basaltheil des Adventivastes nach innen bloss zu legen.

Mittlerweile hat in diesem letzteren die Entwickelung der Gonidien begonnen. Sie ist anfänglich auf einige wenige, oft ziemlich weit von einander abstehende Puncte beschränkt und schreitet von diesen in verschiedenen tangentialen Richtungen fort, bis sich ein zusammenhängendes lockeres Fasergeflecht gebildet hat, welches das Gewebe des Astes in Mark und Rinde scheidet.

Während nun der Adventivast sich in bekannter Weise weiter entwickelt, dringen die in entgegengesetzter Richtung fortwachsenden Markfasern allmälig tiefer in das lockere Markgeflecht des Thallus ein und setzen, nachdem sie beim Medullarstrang angekommen, ihren Weg sogar mitten durch das dichte Gewebe desselben fort. Das Mark des Adventivastes tritt auf diese Weise in unmittelbare Verbindung mit dem Marke des Thallus. Auf Längsschnitten durch das letztere, parallel der Verzweigungsebene geführt, sieht man sehr schön, wie die Markfasern des Adventivastes bei ihrem Eintritt in dasselbe spreizend aus einander gehen, sich im Innern des dichten Fasergeflechtes verzweigen und oft erst in der Nähe des gegenüberliegenden Markrandes endigen (Taf. II. Fig. 19)*). Hinwiederum dringen auch die peripherischen Fasern des primären Markes, wenn sie von oben oder unten auf den Medullarstrang des Adventivastes stossen, nach und nach immer tiefer in denselben ein, wobei sie gewöhnlich mehr oder weniger nach aussen abgelenkt werden. Die Basis des Adventivastes wird durch diese Vorgänge etwas breiter; sie geht in Folge dessen allmälig in die Oberfläche des primären Markes über, so dass viele Fasern, welche auf der letztern gegen die Verzweigungsstelle der beiden Markstränge zu wachsen, der sanften Krümmung der Oberfläche folgen und sich dem Marke des Adventivastes anschliessen, statt in dasselbe einzudringen, und umgekehrt. Dieser Verlauf der Fasern kommt je nach der Grösse des Winkels, welchen der Ast mit der Stammaxe bildet, häufiger oder seltener vor. Wir begegnen ihm vorzugsweise auf der der Thallusbasis zugekehrten Seite älterer Adventiväste, nachdem dieselben, obgleich anfangs nahezu horizontal abstehend, sich in der Folge etwas mehr scheitelwärts geneigt haben, folglich mit dem Basaltheil der Stammaxe einen stumpfen Winkel bilden. In diesem Falle kann die Faserschicht, welche von dem einen Medullarstrang direct in den anderen übergeht, so mächtig werden, dass die Unterscheidung eines Adventivastes von einem durch Gabelung entstandenen Zweig, trotz des ursprünglich so verschiedenen Faserverlaufes, unmöglich oder doch mindestens unsicher wird (Taf. II. Fig. 18). Es kann diess um so weniger auffallen, als der Adventivast nicht selten die directe Fortsetzung des Thallus an Länge und Dicke übertrifft und mit derselben in Hinsicht auf Dimensions- und Neigungsverhältnisse möglicherweise schon sehr früh eine Pseudodichotomie darstellt, welche in ihrem ferneren Verhalten, wenigstens was den Verlauf der oberflächlichen von den neu hinzukommenden Fasern betrifft, mit der wahren Dichotomie vollkommen übereinstimmt.

---

*) Die Figur stellt einen Längsschnitt durch den Thallus und die Basis eines Soredialastes dar. Der Verlauf der Markfasern ist indess bei Adventivästen genau derselbe.

Bleibt dagegen der Basaltheil des Adventivastes zeitlebens horizontal abstehend, was vorzugsweise dann der Fall zu sein scheint, wenn die erste Anlage ziemlich weit unterhalb der Spitze gebildet wurde, so dringt die grosse Mehrzahl der Markfasern in den primären Markstrang ein und der Adventivast ist auf den ersten Blick als solcher zu erkennen, gleichviel ob die directe Fortsetzung des Thallus in der Entwickelung weiter fortgeschritten oder hinter ihm zurückgeblieben sei. In der Nähe der Basis älterer Exemplare kommen nicht selten Verzweigungen vor, welche 1 Millim. Dicke und darüber erreicht haben, und die sich dessenungeachtet durch den characteristischen Verlauf der Markfasern deutlich als Adventiväste kennzeichnen.

3. Die Soredialäste.

Unter den Soredien, welche die Oberfläche der Rinde durchbrochen haben und über der Durchbruchsstelle in grösserer oder kleinerer Zahl im Fasergeflecht hängen geblieben sind, beobachtet man häufig solche, die bereits einen deutlichen Scheitel besitzen und daher als junge Thallusindividuen zu betrachten sind (Taf. II. Fig. 23 u. 24). Eines derselben entwickelt sich gewöhnlich rascher und erscheint bald als ein schon mit blossem Auge sichtbarer, horizontal abstehender Ast, dessen Basaltheil die ganze Breite der durch den Durchbruch der Soredien entstandenen Oeffnung einnimmt und dieselbe pfropfartig schliesst (Taf. II. Fig. 16, 18—20). Die übrigen Soredien werden durch die vorwiegende Entwickelung dieses einen allmälig auf die Seite gedrängt und fallen, nachdem sie von der Verbindung mit dem lockern Markgewebe des Thallus abgeschnitten worden, entweder ab oder bleiben wenigstens sehr klein. Man überzeugt sich hievon am leichtesten, wenn man ganze Thallusstücke mit einer staubigen Rinde bei geeigneter Vergrösserung untersucht. In einer gewissen Entfernung von der Spitze erscheinen alsdann die Soredien noch als Häufchen grüner Zellen mit den bekannten Faserhüllen, von denen jedoch einzelne bereits je einen deutlichen Scheitel besitzen. Etwas weiter nach unten begegnen wir schon grösseren Soredialästen, die beispielsweise 1 Millm. Länge und darüber erreicht haben und deren Basis nicht selten von 2, 3 oder auch von mehreren mit einem deutlichen Scheitel versehenen Soredien umgeben ist. Gehen wir noch einen Schritt weiter, so ist dieser junge Nachwuchs in der Regel vollständig verschwunden und wir treffen an der nämlichen Durchbruchsstelle der Soredien bloss noch einen einzigen grossen Soredialast, der — wie bereits erwähnt — die ganze Oeffnung meist vollständig ausfüllt und wie ein Pfropf in dieselbe eingefügt erscheint (Fig. 19, 20). Nur selten kommt noch ein zweiter kleinerer hinzu, der möglicherweise gleichzeitig mit jenem entstanden sein kann, vielleicht aber auch einem später gebildeten Soredium seinen Ursprung verdankt.

Durch diese stufenweise Entwickelung der Soredialäste, die man im Allgemeinen beim Fortschreiten von oben nach unten beobachtet, ist natürlich das Vorkommen von Soredien auf der älteren Rinde keineswegs ausgeschlossen. Es ist im Gegentheil eine bekannte Thatsache, dass dieselbe auch bei den dicksten Stämmen und zwischen eben so dicken Soredialästen nicht selten in zahlreichen scheibenförmigen Anhäufungen die Oberfläche bedecken. Untersucht man die letzteren genauer, so findet man unter den vielen, oft schon ziemlich entwickelten Astanlagen (Soredien mit Scheiteln), aus welchen sie zum grössten Theil bestehen, zuweilen auch solche, deren Fasern eben so stark wie in der alten Rinde verdickt sind und die in Folge dessen ein ganz abweichendes Aussehen haben. Offenbar sind solche Anlagen schon früher gebildet und durch irgend eine Ursache, wahrscheinlich weil sie von anderen Soredien überwuchert und umschlossen wurden, an ihrer Weiterentwickelung gehemmt worden.

Der Umstand, dass die Rinde des Soredialastes nicht ununterbrochen in diejenige des Thallus übergeht, sondern sich bloss an dieselbe anlegt und daher schon unter der Loupe deutlich abgegliedert erscheint, gibt uns ein sicheres Mittel an die Hand, Soredial- und Adventiväste von einander zu unterscheiden, vorausgesetzt, dass nicht Unterbrechungen anderer Art: Risse, Furchen etc., wie sie namentlich auf der älteren Rinde häufig vorkommen, die Zuverlässigkeit des Merkmals beeinträchtigen.

Was das Verhalten des Markes betrifft, so stimmen die Soredialäste vollkommen mit den Adventivästen überein. Die Markfasern des Astes dringen in gleicher Weise in den Medullarstrang des Stammes ein, und es kann auch hier der Fall eintreten, dass die beiden Stränge nach und nach eine Pseudodichotomie darstellen, die sich von der wahren endlich nicht mehr unterscheiden lässt.

Anfänglich stehen alle Soredialäste ziemlich genau rechtwinkelig ab. Wir finden sie in diesem Stadium in grosser Zahl bei U. florida, hirta, dasypoga, longissima, wo sie dem Thallus die Eigenschaft »ramosissimus« verleihen. Erst nachdem sie eine gewisse Grösse erreicht haben, krümmen sie sich zuweilen mit ihrer Spitze nach oben und wachsen von nun an in dieser Richtung weiter; sie können auch, wenn ihre Entwickelung rasch vorwärts schreitet, die directe Fortsetzung des Thallus mehr oder weniger auf die Seite drängen und mit derselben eine sogenannte subdichotomische Verzweigung darstellen.

Die Soredialäste sind im vollsten Sinne des Wortes Individuen. Sie erscheinen nur desswegen als Verzweigungen des Thallus, weil sie sich auf der Mutterpflanze, statt auf einer anderen geeigneten Unterlage entwickeln und durch ihre Markfasern aufs Innigste mit derselben verbunden sind. Was man bisher schlechthin als Thallus zu betrachten gewohnt war, besteht somit aus einer Vielheit von Individuen, von denen eines der Träger aller übrigen ist.

Befestigung des Thallus auf der Unterlage.

Findet die Entwickelung des Thallus auf einer geeigneten fremden Unterlage statt, so sind es wieder die Markfasern, welche, wie bei den Soredialästen, die Rolle von Haftorganen übernehmen. Sie breiten sich, da ihrem Wachsthum nach unten zu grosse Hindernisse im Wege stehen, in strahlenförmig verlaufenden Bündeln auf der Unterlage aus und dringen hie und da, wo sich gerade Gelegenheit bietet, in dieselbe ein. Man beobachtet z. B nicht selten, dass einzelne Büschel am Rande einer Borkenschuppe umbiegen und zwischen dieselbe und die tiefer liegende Rinde eindringen, während andere eine oberflächliche Schicht von Korkzellen durchbohren und in der darunter liegenden Borke endigen u. s. w. (Taf. II. Fig. 21).

Die peripherischen Fasern der einzelnen Bündel erscheinen häufig dunkler gefärbt und bilden eine Art Rinde; alle übrigen dagegen sind farblos und haben überhaupt das gewöhnliche Aussehen der Markfasern.

Durch die Entwickelung der Haftorgane und die fortdauernde Verzweigung der Fasern wird der Thallus mehr oder weniger in die Höhe gehoben. Daher rührt es, dass die eigentliche Rinde die Oberfläche des Substrates später nicht mehr berührt, sondern erst über derselben, bald in grösserer bald in kleinerer Entfernung, zum Vorschein kommt.

Die verschiedenen Varietäten von Usnea barbata, die von manchen Autoren als besondere Arten beschrieben werden, verhalten sich im Wesentlichen vollkommen gleich. Eben so U. articulata.

Usnea longissima zeichnet sich dadurch aus, dass der Parallelismus der Rindenfasern bis auf eine weit grössere Entfernung von der Spitze erhalten bleibt, obschon der ältere Thallus vollkommen mit den übrigen Arten übereinstimmt; dass ferner der Verlauf dieser unter sich parallelen Rindenfasern in Folge der raschen intercalaren Theilung ihrer Zellen und des dadurch herbeigeführten vorwiegenden Längenwachsthums der Rinde nach und nach ein spiraliger wird, so dass die Fäden gedreht erscheinen. Die Drehung ist zuweilen so stark, dass die Richtung der Fasern einen Winkel von circa 30° mit der Verticalen bildet. In sämmtlichen von mir untersuchten Fällen (bei 10 — 12 Soredialästen des nämlichen Exemplars) war es Rechtsdrehung.

Von den übrigen strauchartigen Flechten stimmen hinsichtlich ihrer Wachsthumsweise nur wenige insofern mit Usnea überein, als die Thallusenden ebenfalls aus parallelen Fasern bestehen, welche in gleicher Weise in der Richtung der Thallusaxe unbegrenzt weiter wachsen. Die Mehrzahl der Gattungen dagegen gehört zu einem anderen Typus, bei welchem die Faserenden in der Krümmung des Scheitels, so wie überhaupt im peripherischen Theil des Thallus, annähernd senkrecht zur Oberfläche verlaufen. Ausser den eigentlichen Repräsentanten dieser beiden Typen, wozu einerseits Usnea, Bryopogon und Cornicularia, andererseits Roccella, Sphaerophorus, Lichina u. a. zu zählen sind, kommen aber auch zahlreiche Uebergänge vor (besonders bei der Gattung Cetraria und den Cladoniaceen), von denen sich kaum sagen lässt, ob sie dem einen oder dem anderen näher verwandt sind.

Es mag hier genügen, das Wachsthum durch senkrecht gegen die Oberfläche verlaufende Fasern, unter Weglassung der Uebergänge, einer genaueren Betrachtung zu unterwerfen, nachdem der parallelfaserige Typus bereits durch die Wachsthumsgeschichte von Usnea hinreichend characterisirt worden. Der Einfachheit wegen mag die Annahme erlaubt sein, die Thallusenden seien genau halbkugelig zugerundet, daher im Längsschnitt halbkreisförmig begrenzt, was mit der Wirklichkeit so ziemlich übereinstimmt. (Vergl. Taf. V. Fig. 5. Taf. VI. Fig. 1, 2, 21). Unter dieser Voraussetzung wird der Weg, den eine in der Krümmung des Scheitels liegende Faser in Folge des Wachsthums der Thallusenden allmälig zurücklegt, offenbar durch eine Curve dargestellt, welche den Halbkreis während seines Vorrückens in der Richtung der Thallusaxe in allen möglichen Lagen rechtwinkelig schneidet, bis sie die Seitenlinie xn oder zy (Taf. VII. Fig. 15) erreicht hat. Eine solche Curve heisst in der Mathematik eine orthogonale Trajectorie. Construirt man dieselbe für verschiedene Entfernungen von der Axe, z. B. für die Puncte $abcd$......., welche um die mittlere Dicke einer Faser von einander abstehen, so erhält man ein Bild, welches den Verlauf sämmtlicher Faserenden, die in einem gewissen Zeitpuncte im Halbkreis zax liegen, übersichtlich darstellt. Man sieht auf den ersten Blick, dass der Weg, den das Ende einer

Faser zurücklegt, bis es zu wachsen aufhört, um so grösser ausfällt, je kleiner der Abstand von der Axe und dass in der Nähe der letzteren auch die Entfernung zwischen je zwei Curven in stärkerem Verhältniss zunimmt. Es ist $aq > bp > co > dn > em$ etc.; und eben so $pq > po > on > nm$ etc. Vergleicht man diese beiden Reihen von Grössen etwas genauer, so ergibt sich ferner, dass letztere stärker convergirt, als erstere, so dass, wenn die Längen aq, bp, co… auf eine Gerade als Abscisse, die Abstände pq, po, on…. in den entsprechenden Puncten als Ordinaten aufgetragen werden, die convexe Seite der Curve, welche die Endpuncte der Ordinaten mit einander verbindet, der Abscissenaxe zugekehrt ist. Mit anderen Worten: die Abstände zwischen je 2 trajectorischen Curven nehmen gegen die Mitte in stärkerem Verhältnisse zu, als ihre Längen.

Gestützt auf diese Thatsachen lassen sich für das Wachsthum der Thallusenden folgende Regeln angeben.

1. Das Längenwachsthum der Fasern ist in der Nähe der Axe am stärksten und nimmt mit zunehmender Entfernung von derselben im nämlichen Verhältnisse ab, in welchem die Breite einer zwischen 2 Halbkreisen eingeschlossenen sichelförmigen Fläche, z. der schmalen Mondsichel, gegen die beiden Hörner zu abnimmt.

2. Da die einzelnen Faserenden einen divergirenden Verlauf zeigen, aber dessenungeachtet fortwährend zu einem dichten Gewebe verbunden erscheinen, so müssen sie sich nothwendig verasteln. Die Verastlung wird zufolge des Verhältnisses der Curvenlängen zu ihren gegenseitigen Abständen auf der Oberfläche um so häufiger vorkommen, je geringer die Entfernung von der Axe, d. h. ein Faserstück von bestimmter Länge wird im mittleren Theil der Thallusspitze eine grössere Zahl von Verästlungen zeigen, als in den seitlichen, wobei jedoch nicht zu übersehen ist, dass die Gliederzellen immer da am kürzesten sind, wo das lebhafteste Wachsthum stattfindet.

Nicht zu verwechseln mit dem Weg, den die Faserenden in Folge ihres Scheitelwachsthums zurücklegen, ist der Faserverlauf, den man auf Längsschnitten durch die Mitte der Thallusenden beobachtet. Eine Uebereinstimmung zwischen beiden könnte offenbar nur dann stattfinden, wenn die durch Theilung der Scheitelzelle entstandenen Gliederzellen sich nicht weiter verändern würden. Dieser Fall kommt jedoch bei keiner einzigen Flechte vor. Die Gliederzellen erleiden im Gegentheil bei sämmtlichen Gattungen eine mehr oder weniger beträchtliche Streckung und in der Nähe der halbkugeligen Oberfläche des Scheitels (jedenfalls in der ganzen Dicke der Rinde) auch eine wiederholte Theilung durch Querwände. Zu diesen beiden Vorgängen, welche schon für sich allein die ursprüngliche Krümmung der Fasern modificiren müssten, kommt sodann häufig noch ein dritter hinzu, welcher die Regelmässigkeit des Faserverlaufes in noch höherem Grade beeinträchtigt. Gewöhnlich findet nämlich in der Krümmung des Scheitels eine lebhaftere Verästlung statt, als es die Divergenz der trajectorischen Curven nothwendig erfordern würde. Das Flächenwachsthum, welches dadurch bis auf eine gewisse Entfernung von der Oberfläche hervorgerufen wird, hat nicht bloss eine Lockerung des tiefer liegenden Gewebes zur Folge, in welchem fortan die jüngeren Faseräste um so unregelmässiger verlaufen, je grösser die Interstitien, sondern veranlasst auch Vorschiebungen der peripherischen Faserenden in tangentialer Richtung, wenn es gegen den Endpunct der Axe nicht genau in demselben Verhältniss zunimmt, wie die gegenseitigen Abstände der Trajectorien.

Es ist einleuchtend, dass dieses Flächenwachsthum schon für sich allein ein Vorrücken des Scheitels, also ein Scheitelwachsthum des Thallus zur Folge haben muss, wie ja auch das Flächenwachsthum der Zellmembran in der Scheitelregion einer beliebigen Endzelle das Scheitelwachsthum der letzteren bedingt. Das Verhältniss, in welchem die Ausdehnung in die Fläche und die damit zusammenhängende Verlängerung der Axe zu einander stehen, lässt sich leicht durch folgende Betrachtung ermitteln. Wenn die im Halbkreis zax liegenden Faserenden während einer gewissen Zeit in der Richtung der trajectorischen Curven bis zum Halbkreis yqn vorrücken, wobei die Thallusaxe sich um $aq = h$ verlängert, so geht die Verbindungslinie zax sämmtlicher Faserenden in $zy + yqn + nx$ über, erhält also einen Zuwachs von $zy + nx = 2h$. Somit ist die durch das Scheitelwachsthum der Fasern hervorgerufene Ausdehnung der Scheiteloberfläche in der Richtung eines Meridians (den Scheitelpunct als Pol betrachtet) gerade doppelt so gross, als die durch dieselbe Ursache bedingte Längenzunahme der Axe. Umgekehrt wird daher auch ein Flächenwachsthum im halbkugeligen Scheiteltheil, welches einer Ausdehnung von $2h$ in meridianer Richtung entspricht, eine Verlängerung der Thallusaxe um die Grösse h zur Folge haben, und es wird ferner, wenn diese Ausdehnung mit der Entfernung von der Axe in demselben Verhältnisse abnimmt, wie die gegenseitigen Abstände der Trajectorien, der Weg, den die Faserenden dabei zurücklegen, mit der Richtung der Curven genau übereinstimmen. — Mit Rücksicht auf den Verlauf der Faserenden ist es daher ziemlich gleichgültig, ob die Verästlung der Fasern einen grössern oder kleinern Antheil am Vorrücken des Scheitels habe. Dagegen erreicht die Streckung der Zellen selbstverständlich einen höhern Grad, wenn zu dem nach unten gerichteten, durch die Verästlung der ältern Rindenfasern hervorgerufenen Zug noch ein zweiter in entgegengesetzter Richtung hinzukommt, der durch ein vorwiegendes Flächenwachsthum im Scheiteltheil bewirkt wird. Ausserdem ist der oberflächliche, dichtfilzige Theil der Thallusspitze (die Rinde) um so schroffer von dem tiefer liegenden lockerfilzigen Gewebe (dem Mark) abgegrenzt, je mehr das Scheitelwachsthum der Fasern gegen die Verästlung derselben zurücktritt.

Bezüglich des Faserverlaufes nach stattgefundener Lockerung des Gewebes ist wohl zu beachten, dass die häufigen Copulationen zwischen benachbarten Fasern der Thallusspitze Verbindungen in tangentialer Richtung herstellen, welche bei der später erfolgenden Streckung der Zellen die mannigfachsten Abweichungen vom ursprünglich regelmässigen Verlaufe erzeugen müssen. Hiezu kommen dann noch die zahlreichen Verästlungen der Markfasern, welche in beliebiger Richtung durch die Maschen des lockern Geflechtes verlaufen.

Unter diesen Umständen kann es nicht auffallen, dass die Regelmässigkeit des Faserverlaufes in manchen Fällen auf die zu einem dichten Gewebe verbundenen Faserenden, d. h. auf die Dicke der Rinde beschränkt ist, während der ganze innere Theil oder das Markgeflecht ziemlich unregelmässig, zuweilen sogar äusserst verworren aussicht.

Die Abstufungen, die man in dieser Beziehung wahrnimmt, beruhen zum Theil auf der grösseren oder kleineren Intensität des Scheitelwachsthums, indem kräftig vegetirende Enden stets geringere Abweichungen zeigen, als solche, die nur sehr langsam fortwachsen oder bereits zu wachsen aufgehört haben. Anderen Theils sind sie jedoch in der Natur der verschiedenen Gattungen und Arten begründet, indem die Lockerung der Markschicht, die Streckung und Verästlung der Markzellen, so wie das Flächenwachsthum der Rinde bei den einen constant einen höheren Grad erreicht, als bei den anderen. Die grösste Annäherung an die mathematische Regelmässigkeit zeigt Lichina (Taf. VII. Fig. 12), bei welcher Gattung die Markfasern, ein dichtes Gewebe bildend, auch im älteren Thallus bogenförmig nach aussen divergiren, besonders aber in der Nähe der Spitze einen auffallend regelmässigen Verlauf zeigen. Ein ähnliches, wenn auch nicht so deutliches Bild geben zuweilen auch die Thallusenden von Sphaerophorus (Taf. VI. Fig. 1); hier wird jedoch die ursprüngliche Richtung der Fasern in Folge intercalarer Wachsthumserscheinungen sehr bald verändert. Bei den übrigen Gattungen verlaufen die Fasern bloss in der jüngeren Rinde (nur bei Roccella auch in der älteren) vorherrschend senkrecht zur Oberfläche, während die Markschicht aus unregelmässig verflochtenen oder vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern besteht. Näheres über das Verhalten der Thallusschichten soll bei den einzelnen Gattungen mitgetheilt werden.

Die Gonidien werden mit Ausnahme der Cladoniaceen (die übrigens der Mehrzahl nach nicht als Repräsentanten dieses Typus zu betrachten sind) in ziemlich constanter Entfernung von der Oberfläche erzeugt. Sie entstehen auch hier, wie bei Usnea, durch seitliches Auswachsen der Gliederzellen (z. B. der 6., 7., 10. etc. unterhalb der Scheitelzelle) und darauf folgende Abschnürung des gebildeten Fortsatzes durch eine Scheidewand etc. Die Stiele, auf welchen sie sitzen, werden gewöhnlich von einer einzigen Zelle, in seltenen Fällen (z. B. bei Roccella) auch nur von einer Ausstülpung der Faserzelle gebildet (Taf. VI. Fig. 7, 9); sie können sich aber ausnahmsweise auch in zwei oder mehr Zellen theilen. — Die Vermehrung findet bei Roccella und Lichina in eigenthümlicher Weise statt, worüber ich bei der Beschreibung dieser Gattungen das Nähere mittheilen werde; die übrigen Genera stimmen auch hierin im Wesentlichen mit Usnea überein.

Beginnt die Bildung der Gonidien schon in der Krümmung des Scheiteltheils, so behalten dieselben, abgesehen von den grösseren oder kleineren Störungen, welche die Streckung der Zellen verursacht, ihre ursprüngliche Lage zur Axe bei, während die Faserenden in Folge ihres Scheitelwachsthums sich allmälig weiter von ihr entfernen. In diesem Falle, der indess bloss bei Lichina vorkommt, ist daher auch der centrale Theil des Markes gonidienführend (Taf. VII. Fig. 12). Entstehen dagegen die ersten Gonidien etwa in der Nähe des Punctes *a*

(Taf. VII. Fig. 15), nachdem die Faserenden bereits ihren normalen Abstand von der Axe erreicht haben, so bleiben sie während der ganzen Lebensdauer des Thallus auf den peripherischen Theil der Markschicht beschränkt, da im Innern der letzteren eine Neubildung nicht stattfindet. Umgekehrt kann aus der Lage der Gonidien im älteren Thallus auf ihre Bildungsstätte in der Thallusspitze geschlossen werden. Eine scheinbare Ausnahme von dieser Regel bilden nur solche Enden, welche bereits zu wachsen aufgehört hatten, und bei denen nachträglich auch die Fasern des Scheiteltheiles grüne Zellen erzeugten.

Die Verzweigung des Thallus geschieht entweder durch Gabelung oder durch Bildung von Adventivästen; Soredialäste habe ich keine beobachtet. Eine Gabelung erfolgt, wenn das Scheitelwachsthum der Fasern in der Nähe der Axe aufhört und dafür in zwei symmetrisch gelegenen Puncten zu beiden Seiten derselben ein Maximum erreicht. Einmal angelegt, wachsen die Gabeläste in derselben Weise fort, wie es im Vorhergehenden für die Thallusenden im Allgemeinen angegeben wurde.

Die Adventiväste entstehen, wie die warzenförmigen Auswüchse von Usnea, durch Verästlung oder directe Fortentwickelung der Rindenfasern. Sie verhalten sich übrigens genau wie die Gabeläste.

Bryopogon Link.

Beobachtet man ganze Thallusenden von Bryopogon in Wasser oder Kali, so scheinen dieselben bei den meisten Arten mit denen von Usnea vollkommen übereinzustimmen. Sie besitzen in der Regel genau dieselbe Form und dieselbe Farbe, zeigen eine ähnliche Lagerung der grünen Zellen, lösen sich beim Kochen in Kali in gleicher Weise in einzelne Fasern auf: kurz Alles, was oben über die Natur und das Wachsthum der Thallusspitze von Usnea gesagt wurde, hat auch für Bryopogon meist unbedingte Geltung. Untersucht man aber die Enden genauer vermittelst successiver Querschnitte, so wird man sogleich auf ein eigenthümliches Verhalten aufmerksam, wodurch diese Gattung sich wesentlich von Usnea unterscheidet. Die Bildung der Gonidien findet nämlich nicht, wie bei dieser, in einer kreisförmigen Zone zwischen Centrum und Peripherie, sondern im centralen Theil des Thallus selbst statt (Taf. III. Fig. 1), so dass dieser Process bloss ein Auseinandertreten der Fasern, deren Gesammtmasse fortan die Rinde bildet, nicht aber eine Scheidung in zwei getrennte Complexe zur Folge hat. Daher kommt es, dass ein centraler Markstrang bei Bryopogon fehlt, und dass der mittlere Theil des Thallus von einem lockeren Fasergeflecht gebildet wird, entsprechend demjenigen, welches bei Usnea den peripherischen Theil des Markes bildet (Taf. III. Fig. 2).

Die Rinde besteht aus verästelten, zeitlebens vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern, welche unter sich zu einem dichten (interstitienlosen) Gewebe verbunden sind, das in mancher Beziehung an den Medullarstrang von Usnea erinnert. Die einzelnen Zellen dehnen sich ebenfalls beträchtlich in die Länge, bilden durch Gabelung ihrer Enden ähnliche geschlossene Figuren und zeigen dieselbe Vertheilung des Inhaltes (Taf. III. Fig. 11, 12). Nur die ganz oberflächlich gelegenen Fasern sind in der Regel kurzzellig, weil hier eine wiederholte Theilung der Gliederzellen durch Querwände stattfindet (Taf. III. Fig. 13).

Demzufolge beruht das Längenwachsthum der Rinde fast ausschliesslich auf der Streckung der Zellen, welche letztere im älteren Thallus 40—60, in selteneren Fällen 70—80 Mik. Länge erreichen. Es ergibt sich hieraus ohne alle Berechnung, dass die Längenzunahme des Thallus auch hier grossentheils durch intercalare Wachsthumserscheinungen bedingt wird.

Betreffend das Dickenwachsthum und die Vergrösserung des Umfanges, beschränke ich mich auf folgende Angaben, die sich alle auf B. jubatus beziehen.

Diameter des Thallus:	52	52	54	270	360	530	Mik.
Dicke der Rinde:	14	23	16	60	90	80	„

Der Durchmesser des Thallus beträgt also in der Nähe des Scheitels ungefähr $^1/_{20}$ eines Millimeters und erreicht in der Folge das 6—10fache seiner ursprünglichen Grösse. Die Dicke der Rinde steigt unterdessen von 15 bis auf 60 und 90 Mik., nimmt also um das 4- bis 6fache, folglich in einem etwas geringeren Verhältniss zu.

Die Gonidien liegen in zerstreuten Gruppen unmittelbar unter der Rinde. Sie entstehen genau in derselben Weise wie bei Usnea, und sind auch hier anfänglich dicht zwischen die Fasern eingekeilt. Auf Querschnitten durch die Spitze sah ich mehrere Male eine einzige grüne Zelle im Centrum, ringsum dicht von Fasern umschlossen oder doch nur auf der einen Seite an ein kleines Interstitium grenzend. Andere Male waren es mehrere eckige, offenbar durch Theilung entstandene Zellen, welche dicht gedrängt die centrale Höhlung ausfüllten.

Einmal getrennt, treten die Fasern sehr rasch weiter aus einander, und schon einige Mik. unterhalb der ersten Gonidien hat der centrale Hohlraum eine Dimension erreicht, welche der Dicke der Rinde gleichkommt oder sie sogar übertrifft. Dieser Hohlraum wird zufolge der Entstehung der Gonidien zwischen verästelten Fasern schon von Anfang an von einzelnen quer oder schief verlaufenden Fasern durchzogen, die die Grundlage des lockeren Markgeflechtes bilden, welches später denselben ausfüllt.

Die Theilung der Gonidien erfolgt nach demselben Gesetze, wie bei Usnea. Gruppen von 4 oder 8 Zellen in den verschiedensten Entwickelungsstadien sieht man sehr häufig; auch solche von 9—10 oder einer noch grösseren Zahl von Zellen habe ich mehrere Male beobachtet. Auch die Sorediendildung beruht auf den nämlichen Wachsthumserscheinungen; nur findet die Verästlung der Fasern im Verhältniss zur Vermehrung der Gonidien nicht lebhaft genug statt, um eine geschlossene Hülle um die einzelnen grünen Zellen zu bilden, wie diess bei Usnea der Fall ist. Die Soredien erscheinen daher bloss als grössere oder kleinere Gruppen grüner Zellen, die durch ein weitmaschiges Netz von Fasern zusammengehalten werden (hiezu Taf. III. Fig. 3—10).

Was die Verzweigungen des Thallus betrifft, so kommen auch hier sowohl Gabel- als Adventiväste, dagegen keine Soredialäste vor. Bei B. ochroleucus beobachtet man ausserdem hie und da unregelmässig gelappte, zuweilen sogar fussförmig getheilte Thallusenden, die sich aber wahrscheinlich nicht mehr weiter entwickeln.

Die Gabelung lässt sich nur in den jüngeren Stadien der Entwickelung, also in der Nähe der Thallusspitze, von der häufig vorkommenden, durch rasches Wachsthum der Adventiväste entstehenden Pseudodichotomie mit Sicherheit unterscheiden. Der Winkel, unter welchem die dichotomische Verzweigung eintritt, ist in der Regel ziemlich stumpf, bei B. jubatus meist sehr stumpf, und die einander zugekehrten Seiten der Gabeläste stossen nur anfangs in einer mehr oder minder scharfen Kante zusammen und gehen später durch eine sanfte Krümmung in einander über (Taf. III. Fig. 14, 15). Es rührt diess daher, dass an der Verzweigungsstelle, ähnlich wie im Marke von Usnea, eine Kreuzung der nach unten wachsenden Fasern stattfindet, die um so deutlicher hervortritt, je mehr sich der Verzweigungswinkel einem rechten nähert, und die in allen Fällen ein allmäliges Ineinanderübergehen der zusammenstossenden Flächen vermittelt. Bei sehr stumpfen Winkeln kann sogar der Fall vorkommen, dass nach unten wachsende Fasern des einen Zweiges, nachdem sie an der Verzweigungsstelle angekommen, der Krümmung der Oberfläche folgen und in der Rinde des andern nach oben wachsen, während andere, wie diess namentlich bei weniger stumpfen Winkeln sehr häufig vorkommt, durch dieselbe in das lockere Markgeflecht eindringen und sich daselbst verzweigen.

Die Adventiväste entstehen wie bei Usnea durch die Verästlung der Rindenfasern, bilden anfänglich ebenfalls annähernd rechte Winkel mit der Oberfläche und neigen sich erst später mehr oder weniger scheitelwärts. Wird dabei die directe Fortsetzung des Thallus auf die Seite gedrängt, so entsteht die sogenannte scheinbare oder Pseudodichotomie. — Mit der Entwickelung der Gonidien im jungen Adventivast beginnt auch die Trennung der Rindenfasern an seiner Basis, so dass das lockere Fasergeflecht des Astes schon von Anfang an mit demjenigen des Thallus in Verbindung steht. Man überzeugt sich hievon schon durch die Längsansicht ganzer Thallusstücke mit jungen Adventivästen, indem die Umrisse des Fasergeflechtes wegen seines grossen Luftgehaltes ohne alle Präparation deutlich hervortreten.

Sämmtliche nach unten wachsende Rindenfasern des Astes kreuzen sich anfänglich mit denen des Stammes. Auf der der Unterlage zugekehrten Seite wiederholt sich jedoch diese Kreuzung nur so lange, als der Adventivast seine ursprüngliche Richtung beibehält, d. h. mit der Thallusaxe einen rechten Winkel bildet. Sowie er die Neigung eines Gabelastes angenommen und mit dem auf die Seite gedrängten Stammtheil eine Pseudodichotomie darstellt, zeigen die nachwachsenden Rindenfasern dasselbe Verhalten, wie bei einer ächten Dichotomie: sie verlaufen parallel der Oberfläche von der Rinde des Astes in die des Stammes und umgekehrt. In diesem Nachwuchs vertheilen sich allmälig die ursprünglichen Fasern so sehr, dass die Kreuzung endlich gar nicht mehr in die Augen fällt, somit ein Unterschied zwischen wahrer und Pseudodichotomie nicht mehr bemerkbar ist.

An den Verzweigungsstellen ist der Thallus bekanntlich mehr oder weniger zusammengedrückt und bildet mit der Basis des Adventivastes oder der beiden Gabeläste eine ∇förmige Fläche, deren centraler Theil nicht selten etwas vertieft oder eingefallen erscheint, indem die Hauptmasse der Fasern sich auf die drei Seiten des Deltas vertheilt. Findet nun hier ein vorwiegendes intercalares Wachsthum statt, so erfolgt im Centrum eine vollständige Unterbrechung des Gewebes in der Art, dass die Axille eine geschlossene ∇förmige Figur darstellt, deren 3 Seiten im Querschnitt wie cylindrische Thallusstücke aussehen (Taf. III. Fig. 26)[*]. Es kann sogar der Fall vorkommen, dass sich an den Seiten eines solchen Dreieckes Adventiväste entwickeln, welche in den von demselben umschlossenen Raum hineinwachsen (Taf. III. Fig. 29). — Aehnliche Figuren kommen übrigens auch an Stellen vor, wo keine Verzweigung stattgefunden hat.

Bryopogon jubatus L. var. bicolor. Die graulichen Thallusenden bestehen aus farblosen (nur an der Oberfläche gelblich gefärbten) Fasern. Im älteren Thallus dagegen ist die Membran in der ganzen Dicke der Rinde braun gefärbt. Die Färbung beginnt an der Peripherie und schreitet nach innen fort. Das Mark bleibt ungefärbt. — Die Varietäten chalybeiformis und prolixus sind stets nur an der Oberfläche gefärbt; der weitaus grössere Theil der Rinde ist farblos[**].

B. sarmentosus Ach. Die Rinde erscheint auf dünneren Schnitten ganz farblos, auf dickeren bis gegen die Mitte schwach gelblich gefärbt. Die einzelnen Zellen, deren Membran im älteren Thallus fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickt ist, sind häufig durch Copulation mit einander verbunden. Geschlossene ∇förmige Figuren in den Axillen kommen hier ziemlich häufig vor (Taf. III. Fig. 26—28).

---

[*] Die hier angegebene Entstehungsweise der geschlossenen Figuren ist in den meisten Fällen die einzig denkbare. Ich bemerke jedoch, dass ich dasjenige Stadium der Entwickelung, wo die Unterbrechung des Gewebes noch nicht ganz vollständig erfolgt war, oder so eben stattgefunden hatte, nicht beobachtet habe. — Bei grösseren Figuren ist man allerdings versucht, die Erscheinung a priori durch Copulation zu erklären; allein auf Längsschnitten durch die Winkelpuncte habe ich Nichts beobachtet, wodurch eine solche Annahme gerechtfertigt oder auch nur wahrscheinlich gemacht würde.

[**] Ein einziges von Schärer (wahrscheinlich unrichtig) bestimmtes Exemplar von B. chalybeiformis zeigte ein abweichendes Verhalten. Es waren hier ebenfalls sämmtliche Rindenfasern braun gefärbt.

B. crinalis, B. usneoides (Alectoria usneoides Ach.). Verhalten sich eben so.

B. arenarius Fr. Die Rinde ist bis gegen die Mitte durch staubartig feine Körperchen gelblich gefärbt. Einzelne derselben kommen auch im inneren Theil vor. Im Uebrigen wie die vorhergehenden Arten.

B. divergens (Cornicularia divergens Ach.). Ein Exemplar vom Kotzebuesund (mis. Eschscholz) mit gelblicher und ein anderes von Neufundland (dedit Lenormand) mit brauner Thallusoberfläche verhielten sich nicht ganz gleich. Bei ersterem war der peripherische Theil der Rinde (etwa ⅓ — ¼ der ganzen Dicke) mit Ausnahme des gelblichen Randes farblos und in Folge der starken Verdickung der Fasern scheinbar structurlos; der innere, deutlich parallel-faserige Theil dagegen war durch eingelagerte kleine Körperchen gelblich gefärbt. — Bei dem letzteren Exemplar beschränkte sich die Färbung auf die Membran der peripherischen Rindenfasern, der übrige Theil der Rinde war farblos, ohne eingelagerte Körperchen. Die Faserzellen erreichten in der älteren Rinde eine Länge von 60—70 Mik.; die meisten derselben waren indess bloss 30—40 Mik. lang. Zunächst der Oberfläche sind sie bedeutend kürzer, oft sehr kurz.

B. ochroleucus Ehrh. Die Thallusenden erhalten durch die stärkere Verästlung der Fasern, und weil viele der letzteren unterhalb der Spitze auf der Oberfläche endigen, eine etwas abweichende Physiognomie, stimmen jedoch in allen wesentlichen Puncten, sowohl in Hinsicht auf die centrale Lage der ersten Gonidien, als auf den vorherrschend longitudinalen Verlauf der Rindenfasern mit B. jubatus und den übrigen Arten überein. Die Membranen der Rindenfasern erreichen sehr bald eine beträchtliche Dicke und verschmelzen im älteren Thallus oft so innig mit einander, dass die Zelllumina nur noch als Höhlungen in einer gleichförmigen Masse erscheinen. Die einzelnen Zellen werden 40 — 60 Mik. lang, bilden durch Gabelung ihrer Enden die oben erwähnten geschlossenen Figuren (Taf. III. Fig. 23, 24) und treten häufig durch Copulation mit benachbarten Zellen in Verbindung.

Zwischen die Rindenfasern sind kleine Körnchen eines gelblichen, in Kali leicht löslichen Farbstoffes eingelagert, welche auf dickeren Querschnitten, besonders aber auf Längsschnitten zu unregelmässigen Gruppen und Streifen zusammengedrängt erscheinen und namentlich in der Nähe der Oberfläche eine ununterbrochene Schicht bilden (Taf. III. Fig. 22, 25). Diese Körnchen sind es, welche der Rinde jene ockergelbe Färbung verleihen, wodurch sich diese Species vor den übrigen auszeichnet.

Die Gonidien sitzen ursprünglich auf einzelligen Stielen, deren Verästlung sich hier sehr leicht verfolgen lässt, und bilden durch wiederholte Theilung Gruppen von 8, 16 oder einer noch grösseren Zahl von Theilzellen. Auf Taf. III. Fig. 18, 19 sind zwei Gruppen von je 8 Gonidien abgebildet, die bereits Kugelform angenommen und sich theilweise schon getrennt haben, während die Verzweigung der Stielzelle kaum begonnen hat. Fig. 20 stellt eine grössere Gruppe von 16 durch Theilung entstandenen Zellen dar, welche durch ein weitmaschiges, durch Verästlung der Stielzelle gebildetes Fasergeflecht zusammengehalten werden und daher als Soredien zu betrachten sind. Aehnliche Gruppen, wenn auch nicht immer so deutlich abgegrenzt, beobachtet man häufig; ihre Entstehung scheint nach der Anordnung der Theilzellen, welche oft deutlich zu je 4, nie aber zu je 2 gruppirt sind, dadurch bedingt zu sein, dass schon nach der Theilung in 4 Zellen eine Trennung der Theilzellen stattfindet und dass hierauf jede der letzteren sich abermals in 4 theilt. Dafür spricht auch die Thatsache, dass Gruppen von 16 Zellen ohne jenes soredienbildende Fasernetz nicht vorkommen.

Nicht selten beobachtet man auch Complexe von 20 bis 30 und mehr Gonidien, über deren Entstehung (aus einer oder mehreren Mutterzellen?) sich jedoch nichts Bestimmtes mehr sagen lässt, obschon sie in ein gemeinsames Fasernetz eingebettet erscheinen.

Das Markgeflecht ist in der Regel sehr locker und auf dünnen Querschnitten oft bloss durch einige wenige, vom Innenrand der Rinde ausgehende Faserstücke angedeutet, füllt jedoch auf dickeren Schnitten meist den ganzen Hohlraum aus.

B. luteolus (Ceratoclada luteola Delise). Mit der vorhergehenden Art ziemlich übereinstimmend. Zwischen die Rindenfasern sind ebenfalls rundliche oder längliche gelbe Körperchen eingelagert, die nach Zusatz von Kali sogleich verschwinden.

Cornicularia Ach.

Die Thallusenden bestehen, wie bei der vorhergehenden Gattung, aus vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern, welche beim Erhitzen in Kali sich zuweilen, so weit es die Verfilzung gestattet, von einander trennen. Ihre Physiognomie erinnert an die braun gefärbten Varietäten von Bryopogon jubatus, von denen sie sich in der Längsansicht oft kaum unterscheiden lassen.

Die ersten Gonidien treten unmittelbar unter der Spitze im mittleren Theil des Thallus (Taf. III. Fig. 29) oder auf mehreren excentrischen Puncten zugleich auf (Taf. III. Fig. 31). In beiden Fällen hat ihr Auftreten ein Auseinanderweichen der Fasern und daher die Bildung einer centralen, von lockerem Fasergeflecht ausgefüllten Höhlung zur Folge, welche den Thallus in seiner ganzen Länge durchzieht; der Unterschied ist nur der, dass diese Höhlung im einen Fall sich gegen die Spitze pfriemenförmig verengert, während sie im anderen in mehrere Zacken ausläuft. Die Umrisse derselben im Querschnitt stimmen indess mit der Form des Thallus gewöhnlich nicht überein, sondern springen hie und da bis gegen die Oberfläche vor und stehen an anderen Stellen weit von derselben ab, so dass die Rinde eine sehr ungleichmässige Dicke erhält. Sehr häufig beobachtet man z. B. den Fall, dass dieselbe förmlich in 2 Hälften getheilt erscheint, indem die Lockerung des Gewebes sich auf zwei diametral gegenüber liegenden Puncten bis auf den äussersten, von dunkel gefärbten Fasern gebildeten Rand erstreckt (Taf. III. Fig. 33).

Durch die Verästlungen der Rindenfasern, worauf das Dickenwachsthum des Thallus beruht, wird der ursprünglich longitudinale Verlauf derselben allmälig gestört. Je weiter wir von der Spitze nach unten vorrücken, desto unregelmässiger erscheint das Gewebe, desto grösser die Zahl der Fasern, die sich in den verschiedensten Richtungen kreuzen und verfilzen. Man beobachtet endlich auch auf Längsschnitten zahlreiche quer und schief geschnittene Fasern, so wie auf Querschnitten solche, welche in beliebiger Richtung in der Ebene des Schnittes verlaufen. Die Verfilzung geht jedoch nie so weit, dass die longitudinale Richtung nicht immer noch vorwiegend vertreten wäre. Abweichend verhalten sich nur die peripherischen Verästlungen der Rindenfasern, welche wie bei Usnea in vorherrschend radialer Richtung weiter wachsen und im älteren Thallus die oberflächliche circa 15—20 Mik. dicke Schicht der Rinde bilden (während die ganze Rinde 100—170 Mik. Dicke und darüber erreicht)*). Hiezu Taf. IV. Fig. 7.

Die Rindenzellen sind durchschnittlich nicht über 24—30 Mik., die längsten etwa 40—50 Mik. lang. Der Inhalt ist, wie gewöhnlich, auf die beiden etwas erweiterten Enden vertheilt. Kurzzellig sind nur die peripherischen, vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Rindenfasern, so wie die Fasern der Thallusspitze.

Die Gonidien liegen in zerstreuten Gruppen unmittelbar unter der Rinde, bald ohne Regel auf beliebige Puncte des Umfanges vertheilt, bald nur auf der einen und zwar auf der dem Licht zugewendeten Seite. Sie sitzen auf kurzen einzelligen Stielen und verhalten sich in Beziehung auf Theilung und Sorediendildung (Verästlung der Stielzelle) wie bei vorhergehender Gattung.

Die Verzweigung des Thallus beruht entweder auf Gabelung oder auf der Bildung von Adventivästen. Soredialäste kommen nicht vor.

Ich zähle hieher bloss Cornicularia tristis Web. und Parmelia fahlunensis γ tristis Schaer. Die strauchartigen Verzweigungen der letzteren verhalten sich genau wie bei ersterer der Thallus überhaupt. Das Aussehen der Thallusspitze, die Structur der Rinde in den verschiedenen Entwickelungsstadien, die Umrisse der lockeren Faserschicht (Markschicht), die Vertheilung der Gonidien (Taf. IV. Fig. 1—3, 5), — kurz alle microscopischen Charactere sind so ganz und gar dieselben, dass man keinen Augenblick im Zweifel sein kann, man habe es hier mit einer und derselben Pflanze zu thun. Die Uebereinstimmung geht so weit, dass sich Quer- oder Längsschnitte durch diese beiden vermeintlich verschiedenen Pflanzen, insofern sie die nämliche Entwickelungsstufe darstellen, nicht von einander unterscheiden lassen, es sei denn, dass gewisse zufällige Merkmale die einen oder anderen kennzeichnen.

---

*) Dieser oberflächliche Theil der Rindenschicht unterscheidet sich auch durch sein Verhalten gegen Jod von dem tiefer liegenden Filzgewebe. In letzterem färbt sich die Zellmembran nach Kochen des Präparates in Wasser und Zusatz von Jodtinctur schmutzig oder schwach blau, während der Inhalt eine braunrothe Färbung annimmt; in ersterem bleibt sie dagegen zwischen den dicht gedrängten Inhaltsportionen ungefärbt. Diese Reaction tritt zuweilen, wenigstens stellenweise, auch ohne vorhergegangenes Kochen ein.

Auch die laubartigen Ausbreitungen zeigen keinen anderen Unterschied als den der Form. Selbst die einseitige Lagerung der Gonidien, die hier bekanntlich Regel ist, lässt sich keineswegs als ein scharf trennendes Merkmal betrachten, indem dieselbe auch bei vollkommen cylindrischen Verzweigungen nicht selten vorkommt, während hinwiederum Uebergangsformen, wie Fig. 1 auf Taf. IV, zuweilen auch auf der unteren Seite spärliche Gonidiengruppen besitzen. — Das parenchymatische Aussehen des oberflächlichen Theils der Rinde, das man an Durchschnitten durch ältere laubartige Ausbreitungen (Taf. IV. Fig. 6) in der Regel beobachtet, beruht bloss auf einer durch das Alter hervorgerufenen Modification des ursprünglichen Fasergeflechtes, wobei das Lumen der Zellen sich vergrössert, während der Inhalt sich auf die Wandungen vertheilt und oft gänzlich verschwindet. In der jüngeren Rinde, z. B. in der Nähe eines lebhaft vegetirenden Randes, beobachtet man diese Veränderung nie, während sie andererseits in manchen älteren nicht bloss auf den ganz oberflächlichen Theil beschränkt bleibt, sondern oft ziemlich tief nach innen vordringt. Auf Radialschnitten durch den Thallusrand, welche weit genug gegen das Centrum verlängert werden, sieht man häufig alle möglichen Uebergänge von dem einen Zustand in den andern. — Die Dicke der Rinde schwankt zwischen 20—60 Mik.; der oberflächliche Theil des braunen Randes ist häufig bis auf eine Tiefe von 2—5 Mik. ausgebleicht und lässt dann keine bestimmte Structur mehr erkennen (Taf. IV. Fig. 4). — Die randständigen Cilien, welche man hie und da an laubartigen Thalluslappen beobachtet, sind im Querschnitt rundlich oder unregelmässig länglich und bestehen aus einem durch und durch soliden, dem Rindengewebe ähnlichen Fasergeflecht mit schwarzbraunem Rande.

Cetraria Ach.

Sowohl die cylindrischen als die breitlappigen Thallusenden sämmtlicher von mir untersuchten Cetrarien bestehen aus vielfach verästelten und verworren verfilzten Fasern, die sich zwar beim Kochen in Kali oder in Säuren nicht von einander trennen, deren Endigungen (Scheitelzellen) aber dessenungeachtet, namentlich auf dünneren Schnitten durch die Spitze und bei Anwendung eines schwachen Druckes, meist deutlich hervortreten. Ihre vorherrschende Wachsthumsrichtung kann insofern eine trajectorische genannt werden, als jedenfalls die meisten derselben unter grösserem oder kleinerem Winkel gegen die Oberfläche wachsen, so dass nach Verfluss einer gewissen Zeit der ganze Scheiteltheil des Thallus aus Fasern einer anderen Generation besteht. Einen mehr longitudinalen Verlauf der Fasern zeigen nur die schlankeren Formen von Cetraria islandica, und zwar besonders schön in den farblosen Spitzen, in welche der Thallus zuweilen ausläuft (Taf. IV. Fig. 11).

Die cylindrischen und die breitlappigen Formen verhalten sich übrigens in

Beziehung auf die Bildung eines centralen, von lockerem Fasergeflecht ausgefüllten Hohlraumes nicht ganz gleich. Bei ersteren weichen die Fasern unterhalb des Scheitels, bald in grösserer bald in kleinerer Entfernung von demselben, in der Mitte des Thallus ganz allmälig aus einander, so dass die obersten Gonidien noch dicht zwischen die Fasern eingekeilt erscheinen und der Gegensatz zwischen Mark und Rinde erst etwas weiter unten deutlich hervortritt. Bei letzteren dagegen, wie überhaupt bei der Mehrzahl der laubartigen Flechten, zieht sich die Rinde in gleichmässiger Dicke rund um den Scheitel herum, geht auf Radialschnitten durch den Rand in halbkreisförmigem Bogen von der oberen Fläche zur unteren über und ist eben so deutlich wie im älteren Thallus von dem darunter liegenden Marke abgegrenzt. Dieses eigenthümliche Verhalten hat seinen Grund darin, dass die Vergrösserung der Fläche bei laubartigen Ausbreitungen grossentheils auf intercalarem Wachsthum, d. h. auf der Verästlung der Rindenfasern innerhalb des Randes beruht, und dass das Scheitel- oder Marginalwachsthum, welches durch directe Verlängerung und Verästlung der Fasern in der Krümmung des Randes hervorgerufen wird, so ungemein langsam von statten geht, dass, während der oberflächliche Theil der Rinde etwas vorrückt, ein entsprechender innerer Theil die nöthige Zeit gewinnt, sich durch Streckung der Zellen und Bildung von Gonidien in lockeres Markgewebe umzuwandeln. Dieses Vermögen der Rindenfasern, strauchartig und vorherrschend senkrecht zur Oberfläche weiter zu wachsen, ist meist ausschliesslich auf die Krümmung des Randes beschränkt oder kommt wenigstens innerhalb desselben nur in sehr untergeordnetem Grade vor; denn sowohl der ganze Thallus, als die Rinde zeigen mit zunehmender Entfernung vom Rande eine höchst unbedeutende oder auch gar keine Dickenzunahme.

Die ältere Rinde der Cetrarien zeichnet sich häufig, besonders im mittleren oder inneren Theil, durch die auffallende Grösse der Zellhöhlungen aus (Taf. IV. Fig. 9, 12), in welchen man gewöhnlich 1 bis 3 oder auch mehrere Körnchen bemerkt, die zu mancherlei Täuschungen Anlass geben können. Nach Zusatz von Jodtinctur sieht man dieselben zuweilen in eine schraubenförmig gewundene Linie geordnet, als ob eine Faser an der Wandung der Höhle verliefe; andere Male bilden sie eine halbkreisförmige Figur, die sich auf der einen Seite an eine Reihe von Zellen anschliesst u. s. w. Durch genauere Prüfung überzeugt man sich indess, dass man es bloss mit an der Zellwand adhärirenden Inhaltsportionen zu thun hat, welche nur zufällig irgend eine bestimmte Gruppirung zeigen.

Das Mark bleibt zeitlebens lockerfilzig und ohne solide Stränge (Taf. IV. Fig. 8). In seinem peripherischen Theil liegen in zerstreuten Gruppen die Gonidien, welche hinsichtlich ihrer Entstehung und Theilung mit denen der vorhergehenden Gattungen übereinstimmen.

Cetraria aculeata Ehrh. Ich zähle diese Flechte mit Fries zu den Cetrarien, weil sie in allen microscopischen Merkmalen die grösste Uebereinstimmung mit den letzteren zeigt, von Cornicularia tristis dagegen wesentlich differirt. Die Thallusenden bestehen stets aus vielfach verästelten und verfilzten Fasern, welche zwar in der Nähe der Axe in vorherrschend longitudinaler Richtung verlaufen, im peripherischen Theil dagegen mehr oder weniger nach aussen divergiren, so dass ihre Endigungen annähernd senkrecht zur Oberfläche stehen. Demzufolge ist schon in der jüngeren Rinde nur der innere Theil parallelfaserig, mit verlängerten Zellen; der äussere, ⅓—⅔ der ganzen Schicht bildende Theil dagegen besteht aus kurzzelligen, verfilzten, vorherrschend radial (horizontal) verlaufenden Fasern, deren Membran in der Nähe der Oberfläche gelblich oder braun gefärbt ist. Die ältere Rinde verhält sich eben so; nur haben sich die tiefer liegenden Zellen der peripherischen Hälfte bedeutend erweitert und bilden nun die oben erwähnten, oft auffallend grossen Höhlungen (Taf. IV. Fig. 8, 9).

Die Gonidien finden sich ringsum im peripherischen Theil des Markes und oft tief im Innern desselben, in ganz jungen Aesten (bis zu 160 Mik. Dicke) auch im Centrum. Auf Querschnitten sieht man sie häufig isolirt oder kleine Gruppen bildend im lockeren Markgewebe zerstreut.

C. islandica L. Ein Thallusende mit farbloser Spitze wurde zur Veranschaulichung des vorherrschend longitudinalen Faserverlaufes auf Taf. IV. Fig. 11 dargestellt. Diesem Verlaufe entsprechend sieht man auf horizontal geführten Durchschnitten durch die Spitze auch die Mehrzahl der einzelnen Fasern im Querschnitt. Dieselben bilden anfänglich, unmittelbar unter dem Scheitel, ein durch und durch dichtfilziges (interstitienloses) Gewebe, welches jedoch nach der Entstehung der Gonidien stellenweise durch lockeres Fasergeflecht unterbrochen und endlich auf den peripherischen Theil oder die Rinde beschränkt wird, welche die lockerfilzige Markschicht umschliesst (Taf. IV. Fig. 10). Die ersten Gonidien entstehen bald im Centrum, bald auf mehreren excentrischen Puncten zugleich, bald auch in einer kreisförmigen Zone zwischen Centrum und Peripherie. In den beiden letzteren Fällen löst sich die innerhalb der Gonidien liegende Fasermasse, welche zuweilen noch vollkommen dichtfilzig erscheint, etwas weiter unten ebenfalls in ein lockeres Fasergeflecht auf.

C. cucullata Bellard. Der laubartige, cylindrisch aufgerollte Thallus mit zusammenstossenden oder über einander greifenden Rändern hatte in den zur Untersuchung gewählten Exemplaren eine Dicke von 120—150 Mik., wovon 16—20 Mik. auf die obere und eben so viel auf die untere Rinde kommen. Die Gonidien finden sich isolirt oder zu kleinen Gruppen vereinigt in der ganzen Dicke der Markschicht, in grösserer Zahl jedoch stets auf der oberen Seite.

C. odontella Ach. Die jüngere Rinde ist, wie gewöhnlich, feinfilzig; die ältere zeigt die erwähnten grossen Zellhöhlungen. Gonidien ausschliesslich oder doch vorherrschend auf der oberen Seite. (Nach Kochen in Wasser färbt sich die Fasermembran mit Jodtinctur bläulich).

C. glauca β fallax Schaer. Die verlängerten krausen Thalluslappen besitzen nicht selten, besonders in der Nähe des Scheitels, eine annähernd cylindrische Form (z. B. bei einem Diameter von 100—140 Mik.) und zeigen in diesem Falle mit Rücksicht auf die Vertheilung der Gonidien keinen Unterschied zwischen oben und unten. Das Wachsthum in die Länge geschieht dessenungeachtet stets nach dem Typus der laubartigen Formen: die Rinde zieht sich in gleichmässiger Dicke von 16—21 Mik. und scharf getrennt von dem darunter liegenden Marke auch um den Scheitel herum. Nach Zusatz von Jod lassen sich einzelne Fasern derselben und ihre Verästlungen, soweit sie innerhalb der Schnittflächen liegen, verfolgen; sie erscheinen schon in der Krümmung des Randes vielfach verästelt und verfilzt, wachsen aber dessenungeachtet vorherrschend senkrecht zur Oberfläche, gleichsam rasenartig weiter. Die Fasermembran verdickt sich mit zunehmender Entfernung vom Rande bedeutend, so dass das ältere Rindengeflecht, da die Zellhöhlungen (wenigstens in den krausen Thalluslappen) klein bleiben, ungemein dicht und bei etwas schwächerer Vergrösserung fast homogen erscheint.

C. saepincola Ehrh. Der laubartige Thallus besitzt eine 16—20 Mik. dicke, dichtfilzige Rinde mit kleinen oder nur wenig erweiterten Zellhöhlungen und stark verdickter Membran, ein sehr lockeres Mark und einseitig gelagerte Gonidien.

C. juniperina L. Zwischen den Fasern der Rindenschicht, die sich übrigens wie bei vorhergehenden Arten verhält, finden sich kleine Körperchen eines gelblichen Farbstoffes eingelagert. — Gonidien zerstreut im Markgeflecht, bald ziemlich gleichförmig vertheilt, bald vorherrschend auf der oberen Seite.

C. bavarica Krempelh. Rinde circa 40 Mik. dick, mit grossen 8—10 Mik. im Diameter haltenden Zellhöhlungen. Der gelbe Farbstoff ist auf der oberen Seite in kleinen Körnchen in dem peripherischen Theil eingelagert; auf der unteren dagegen ist die Membran der oberflächlichen Zellen (gleichförmig) gefärbt. Gonidien nur auf der oberen Seite.

C. straminea Krempelh. Thallus beispielsweise 120 Mik., Rinde durchschnittlich 32—40 Mik. dick, im entwickelten Zustande wie bei vorhergehender Art mit grossen rundlichen oder rundlich-eckigen Zelllumina, die besonders im inneren Theil sehr scharf conturirt sind und hier einen Durchmesser von 8—10 Mik. erreichen (Taf. IV. Fig. 12). Der peripherische Theil der oberen Rinde ist durch eingelagerte gelbe Körperchen gefärbt, welche auf dünnen Durchschnitten in vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufende Reihen geordnet erscheinen. Der alleräusserste Rand ist gewöhnlich bis auf eine Tiefe von circa 5—8 Mik. ausgebleicht und scheinbar structurlos. Die untere Rinde scheint auf zarten Durchschnitten vollkommen farblos zu sein; auf etwas dickeren zeigt die Membran der oberflächlichen Zellen eine schwach gelbliche Färbung. — Gonidien nur auf der oberen Seite.

C. Richardsonii Hook. Thallus 0,7 Millim. dick und darüber; obere Rinde circa 200—220 Mik., untere bloss 60 Mik. Das Fasergeflecht der oberen Rinde verhält sich im Wesentlichen wie bei den vorhergehenden Arten, gibt jedoch im Durchschnitt ein etwas abweichendes Bild. Es besteht aus dickwandigen, dabei aber doch ziemlich dünnen Fasern mit sehr kleinen Höhlungen, die sich nach allen Richtungen kreuzen und verfilzen und sich nach Zusatz von Jod oft ziemlich weit verfolgen lassen. Die untere Rinde zeigt hie und da die erwähnten grossen Zelllumina und im peripherischen Theil vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufende Fasern. — Die Gonidien finden sich nur auf der oberen Seite.

Ramalina Ach.

Diese Gattung bildet den Uebergang von der vorhergehenden zu der nächstfolgenden; sie ist in gewisser Beziehung mit jener, in anderer mit dieser näher verwandt. Die Thallusspitze besteht aus stark verästelten und verfilzten, jedoch vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern, deren Enden sich namentlich auf zarten Längsschnitten deutlich erkennen lassen. Im älteren Thallus erscheint der innere Theil der Rindenschicht vorwiegend parallelfaserig, mit verlängerten Zellen (Taf. V. Fig. 8, 11), der peripherische dagegen als ein verworrenes kurzzelliges Filzgewebe, das zunächst der Oberfläche gelblich gefärbt ist. Eine Vergrösserung der Zellhöhlungen, wie bei den Cetrarien, findet nicht statt. — Das Markgewebe ist in den Thallusenden durchgehends lockerfilzig (Taf. V. Fig. 9, 10); weiter unten treten in der Regel einzelne solide Markstränge auf, welche fast ohne Ausnahme mit der Rinde verschmolzen und im Querschnitt als Vorsprünge derselben nach innen erscheinen (Taf. V. Fig. 7). Sie bestehen, wie der Medullarstrang von Usnea, aus longitudinal verlaufenden langzelligen Fasern, und sind daher von dem inneren, ebenfalls vorwiegend parallelfaserigen Theil der Rindenschicht gewöhnlich in keiner Weise abgegrenzt.

Die Gonidien verhalten sich wie bei den vorhergehenden Gattungen. Die Soredien besitzen (wenigstens bei R. farinacea) ziemlich dichtfilzige Faserhüllen.

R. calicaris (R. fraxinea γ calicaris Sch.). Der orthogonaltrajectorische Faserverlauf tritt auf Längsschnitten durch die Thallusenden nicht immer deutlich hervor und zwar erscheint derselbe in um so höherem Grade gestört, je langsamer das Scheitelwachsthum von statten geht. Ich habe Fälle beobachtet, wo die Verfilzung selbst in der Nähe des Scheitels bereits einen solchen Grad erreicht hatte, dass von einer vorherrschend vertretenen Richtung kaum die Rede sein konnte, während in andern die grosse Mehrzahl der Fasern annähernd senkrecht zur Oberfläche verlief. Mit zunehmender Entfernung von der Spitze findet im peripherischen Theil der Rinde allmälig eine stärkere Verfilzung statt, in Folge deren das Gewebe auf Längs- und Querschnitten annähernd dasselbe Aussehen erhält, während im inneren Theil, ähnlich wie bei manchen Cetrarien, die longitudinale Richtung der Fasern merklich vorwiegend wird, so zwar, dass dieselbe stellenweise fast ausschliesslich vertreten ist (Taf. V. Fig. 11), an anderen Stellen dagegen beträchtliche Störungen erleidet.

R. fraxinea α ampliata Sch. Die Thallusenden verhalten sich eben so. In der älteren Rinde und den damit verschmolzenen Marksträngen wird die vorherrschende Richtung der tiefer liegenden Fasern vom Verlaufe der netzartig anastomosirenden Rippen auf der Oberfläche bedingt und man beobachtet z. B. sehr häufig, dass Längsschnitte (parallel der Thallusaxe) im inneren Theil der Rindenschicht stellenweise einen vorherrschend longitudinalen Faserverlauf zeigen, während an anderen Stellen, die den horizontal verlaufenden Rippen entsprechen, fast sämmtliche Fasern quer geschnitten sind.

R. fraxinea β fastigiata Sch. verhält sich im Wesentlichen eben so; nur ist der Parallelismus der Fasern im innern Theil der Rindenschicht und den damit verschmolzenen Marksträngen hier nicht so häufig gestört.

R. farinacea L. Ein Querschnitt durch den Thallus mit zahlreichen Medullarsträngen, welche als Vorsprünge der Rindenschicht erscheinen, ist auf Taf. V. Fig. 7 dargestellt. In diesen Strängen und im nicht schattirten Theil der Rinde ist auch hier der Faserverlauf vorherrschend longitudinal.

R. pollinaria Ach. verhält sich im Wesentlichen eben so.

Anmerkung 1. Die im Vorhergehenden ausgesprochene Ansicht, dass die Vorsprünge der Rindenschicht nach innen als solide Markstränge zu betrachten seien, stützt sich auf folgende Thatsachen. Der Innenrand der Rinde springt nicht selten so plötzlich und weit in das lockere Markgewebe vor, dass die Voraussetzung eines ungleichmässigen Wachsthums bei einer solchen Dickenzunahme ungenügend erscheint. Zuweilen beobachtet man auch Fortsätze, welche der Rinde im Querschnitt mit verschmälerter Basis aufsitzen, in selteneren Fällen sogar Stränge, welche vollkommen isolirt zwischen beiden Rindenlamellen liegen, etwas höher oder tiefer sich aber ebenfalls an die eine oder andere anlegen. Es unterliegt somit keinem Zweifel, dass solide Markstränge vorkommen und mit der Rinde verschmelzen; ob aber ausserdem noch ein ungleichmässiges Dickenwachsthum der Rindenschicht stattfindet, welches für sich allein die Bildung kleinerer Vorsprünge verursachen könnte, habe ich nicht genauer untersucht. Nach Querschnitten durch den Thallus von R. pollinaria und R. farinacea, in welchen die Rinde stellenweise bloss aus dem oben erwähnten peripherischen Theil besteht, wäre man jedoch eher versucht, in entgegengesetzter Richtung einen Schritt weiter zu gehen, und bloss diesen Theil, der eine ziemlich gleichmässige Dicke von circa 16—20 Mik. erreicht, als die eigentliche Rindenschicht, das innerhalb desselben liegende parallelfaserige Gewebe dagegen als zum Marke gehörig zu betrachten. Allein gegenüber der Thatsache, dass bei R. calicaris und R. fraxinea ampliata der innere Theil der Rindenschicht schon in der Nähe der Spitze, wo jene Fortsätze nach innen noch gar nicht zur Entwickelung gekommen sind, parallelfaserig erscheint, müsste eine solche Anschauungsweise oder wenigstens deren Ausdehnung auf sämmtliche Arten höchst willkürlich erscheinen.

Anmerkung 2. Die anatomischen Verhältnisse dieser Gattung wurden bereits von Speerschneider (Microscopisch-anatomische Untersuchung über Ramalina calicaris Fr. und deren Varietäten fraxinea, fastigiata, canaliculata und farinacea, Bot. Zeitg. 1855, p. 315) ziemlich ausführlich besprochen. Die von ihm gemachten Angaben über die Structur der Thallusschichten und die Entwickelung der Gonidien stehen jedoch mit den Thatsachen grossentheils im Widerspruch. Es ist unrichtig, dass die Fasern der Rinde durch eine reichlich vorhandene Intercellularsubstanz, »eine helle farblose Masse, die wohl nur ein Absonderungsproduct der Zellenwand selbst ist, fest an einander gekittet« sind; die einzelnen Faserzellen berühren sich im Gegentheil, wie bei sämmtlichen übrigen Flechten, unmittelbar mit ihren Membranen, und es ist bloss eine Folge der ungleichen Dichtigkeit der verschiedenen Schichten, dass die Membransubstanz auf Durchschnitten nicht überall gleich hell erscheint. Nach der weiteren Angabe, dass die Fadenzelle auf Zusatz von Schwefelsäure und Jodlösung eine intensiv braune, die Zwischenzellenmasse eine gelbliche Färbung annehme, vermuthe ich, dass Speerschneider den Zellinhalt für die Fadenzellen, und die Membran für die Intercellularmasse angesehen hat. Zufolge der nämlichen Täuschung wird die Markfaser als eine dünne, scheidewandlose Röhre, umgeben von einer dicken Hülle »von gelblichem Ansehen und offenbar anderer Natur« beschrieben und abgebildet und dann weiter hinzugefügt, diese Umhüllung könne zuweilen auch fehlen, sie sei in Aetzkali löslich und die wirkliche Markzelle werde durch Jod und Schwefelsäure tief braun gefärbt! Hinsichtlich der Entwickelung der Gonidien glaubt Speerschneider deutlich Folgendes gesehen zu haben. »Ein jüngeres Aestchen der Markzelle treibt sich an einer oder mehreren Stellen etwas auf, und es erscheint daselbst ein getrübter, granulirter, grünlicher Inhalt, der sich entweder bloss zu einer einzigen Kugel zusammenzieht oder sich theilt und mehrere solcher Kugeln bildet. In beiden Fällen treiben diese neu entstandenen Zellen die Wand der Mutterzelle auf einer Seite nach aussen, diese Austreibung schnürt sich endlich von der Mutterzelle ab und das Gonidium wird dadurch frei. Oft wird die Mutterzelle, namentlich wenn viele jener Zellen sich zu gleicher Zeit absondern, sehr verbogen.« Diese ganze Darstellung beruht durchaus auf oberflächlicher Untersuchung. Die Gonidien entstehen keineswegs im Innern der Faserzellen, sondern sind, wie bei Usnea, die Endzellen kleiner Aeste, welche sich anfangs von den übrigen Verästlungen nicht unterscheiden lassen.

Evernia ACH.

In der Art und Weise des Wachsthums, zum Theil auch im anatomischen Verhalten der Thallusschichten, stimmt Evernia mit Ramalina überein. Die Enden bestehen aus kurzzelligen, mehr oder weniger verästelten Fasern, welche bei den schlankern Formen, z. B. bei Evernia flavicans und zum Theil auch bei E. vulpina in vorherrschend longitudinaler Richtung verlaufen und sich beim Erhitzen in Kali nicht selten von einander trennen, bei den breitlappigen und stumpf abgerundeten dagegen in ähnlicher Weise wie bei Ramalina und der Mehrzahl der Cetrarien verworren durch einander gefilzt sind und dabei in vorherrschend trajectorischer Richtung weiter wachsen. Im ersteren Fall löst sich der centrale Theil allmälig und in verschiedener Entfernung von der Spitze in ein lockeres Markgeflecht auf, so dass die ersten Gonidien noch dicht von Fasern umschlossen werden; im letzteren dagegen ist der Uebergang ein plötzlicher oder wenigstens ein viel rascherer und die Oberfläche der Markschicht den äusseren Umrissen der Thallusspitze entsprechend, indem die Rinde in ziemlich gleichmässiger Dicke der Krümmung des Scheitels folgt*). (Taf. V. Fig. 4).

---

*) In dieser Hinsicht verhalten sich übrigens die verschiedenen Arten und Individuen und die verschiedenen Enden desselben Individuums nicht ganz gleich. Für die einen, welche vielleicht schon aufgehört hatten zu wachsen, hat obige Angabe unbedingte Geltung; für die anderen, welche allem Anschein nach in lebhafter Vegetation begriffen waren, nur insofern, als das Markgeflecht wegen seines Luftgehaltes allerdings in der angegebenen Weise von der dichtfilzigen, interstitienlosen Rinde abgegrenzt erscheint, nicht aber in dem Sinne, dass das lufthaltige Fasergeflecht unmittelbar unter dem Scheitel in Beziehung auf Dichtigkeit und Länge der Zellen den Character des älteren Markes besitze und von der Rinde auffallend absteche. Der Uebergang erscheint im Gegentheil, wenn man die Luft durch Kochen im Wasser verdrängt, ein allmäliger, bedingt durch die langsam erfolgende Streckung der jeweiligen innersten Rindenzellen und die damit zusammenhängende Lockerung des Gewebes. (Taf. V. Fig. 5).

Die ältere Rinde besteht mit Ausnahme von E. flavicans (s. d.) aus einem dichten Fasergeflecht, das auf Längs- und Querschnitten entweder vollkommen oder doch annähernd gleich aussieht und wie bei Ramalina zeitlebens kleine Zellhöhlungen besitzt (Taf. IV. Fig. 14). — Das Mark ist entweder durch und durch lockerfilzig, so bei E. prunastri, divaricata, furfuracea (Taf. V. Fig. 4); oder es kommen in demselben einzelne solide, aus longitudinal verlaufenden Fasern bestehende Markstränge vor, welche bald rings von lockerem Fasergeflecht umgeben (Taf. IV. Fig. 13, 15), bald auf der einen Seite mit der Rinde in Berührung sind (Taf. IV. Fig. 16, 17) und deren Zahl, Form und Gruppirung mit der Höhe wechseln (E. flavicans, vulpina). — Die Gonidien liegen in zerstreuten Gruppen unmittelbar unter der Rinde und verhalten sich hinsichtlich ihrer Entstehung und Theilung wie bei den vorhergehenden Gattungen. Bei der Soredienbildung ist bei den einen die Verästlung der Fasern, bei den anderen die Theilung der Gonidien vorwiegend. Jene erzeugen Soredien mit geschlossenen Faserhüllen, welche denen von Usnea täuschend ähnlich sind (E. prunastri); diese stimmen mit Bryopogon und allen denjenigen Flechten überein, wo die grünen Zellen bloss durch ein weitmaschiges Fasernetz zusammengehalten werden.

Evernia flavicans Swartz. Die anatomischen Verhältnisse dieser Flechte sind der Art, dass sich dieselbe ungezwungen weder mit den Evernien noch mit Cornicularia vereinigen lässt, vielmehr als Repräsentant eines besonderen Typus betrachtet werden muss, der in mancher Beziehung der ersteren, in anderer der letzteren dieser beiden Gattungen näher steht. Ich führe sie hier bloss desswegen als Evernia auf, weil ich die Würdigung der Wuchsverhältnisse bei der Abgrenzung der Gattungen den Lichenologen vom Fach überlassen will.

Die Thallusenden, deren äusserste Spitze gewöhnlich farblos ist, bestehen, wie bei Bryopogon und Cornicularia, aus verästelten longitudinal verlaufenden Fasern, die sich beim Erhitzen in Kali theilweise von einander trennen. Im Querschnitt sind sie annähernd kreisförmig und da die Gonidien erst weit unterhalb der Spitze auftreten, durch und durch solid; sie stimmen, was die Physiognomie des Gewebes betrifft, mit dem Medullarstrang von Usnea überein. Mit zunehmender Entfernung vom Scheitel verästeln und verfilzen sich die Fasern allmälig stärker, wie diess bei sämmtlichen parallelfaserigen Flechten der Fall ist, doch bleibt die longitudinale Richtung auch im älteren Thallus stets vorwiegend vertreten. — Die Lockerung des Gewebes, welche wie gewöhnlich eine Scheidung in Mark und Rinde herbeiführt, findet in sehr unregelmässiger Weise statt. Während das Markgeflecht sich hie und da bis zur Oberfläche erstreckt, springt in anderen Stellen die Rinde weit gegen das Centrum vor und setzt sich häufig mit einzelnen soliden Marksträngen, welche constant in grösserer oder kleinerer Anzahl vorhanden sind, in Verbindung. Eben so richtig könnte man übrigens auch sagen, Mark und Rinde seien hier gar nicht von einander geschieden, es finde bloss eine stellenweise Lockerung in einem durch und durch gleichförmigen Fasergeflecht statt, dessen dichtere Partien nach wie vor überall dieselbe Structur besitzen. — Die Faserzellen sind verlängert, mit unterbrochenem Inhalt; die

Wandungen, wie gewöhnlich, ziemlich stark verdickt, zunächst der Oberfläche gelblich gefärbt (jedoch nur bis zu einer Tiefe von circa 6—8 Mik.). — Die Gonidien liegen unmittelbar unter der Rinde (den dichtfilzigen peripherischen Gewebspartien) in zerstreuten, oft ziemlich weit von einander abstehenden Gruppen.

Evernia flavicans hat also mit Cornicularia tristis den vorherrschend longitudinalen Faserverlauf und die unregelmässige Begrenzung der Rinde gemein, während sie andererseits durch die Form des ältern Thallus und die soliden Stränge der Markschicht sich mehr den Evernien nähert.

E. vulpina L. Die verschieden geformten, bald halbkugelig abgerundeten, bald einseitig zugespitzten, zuweilen auch breitgedrückt-lappigen Thallusenden zeigen zwar ebenfalls einen vorherrschend longitudinalen Faserverlauf, weichen jedoch darin von der vorhergehenden Art ab, dass der peripherische Theil derselben von deutlich gegliederten, schnurförmigen Faserenden gebildet wird, welche annähernd senkrecht zur Oberfläche, also auf Querschnitten in radialer Richtung verlaufen (Taf. V. Fig. 1). Diese Faserenden sind es, welche nach stattgefundener Differenzirung der Thallusschichten die Rinde bilden, während der ganze innere Theil sich in ein lockeres, lufthaltiges Markgeflecht auflöst, in welchem erst später einzelne solide Stränge entstehen. Die Rinde ist in der Nähe der Spitze meist dünn und von dem darunter liegenden Fasergeflecht undeutlich abgegrenzt. Bei sehr üppiger (wahrscheinlich krankhafter) Gonidienbildung kann sie auch vollkommen fehlen, so dass die äussersten grünen Zellen unmittelbar an der Oberfläche liegen. Querschnitte durch den Thallus haben in diesem Falle genau das Aussehen einer Sorediengruppe, man sieht Nichts als einen Haufen von Gonidien, von spärlichen Fasern durchflochten. Etwas weiter unten dringen jedoch auch in diesem Falle die Verästlungen der oberflächlich gelegenen Fasern über das Niveau der Gonidien hervor und bilden eine continuirliche Rindenschicht, die mit zunehmender Entfernung vom Scheitel allmälig dicker wird. Die fortschreitende Verästlung der Rindenfasern hat zur Folge, dass dieselben in um so höherem Grade durch einander gefilzt sind, je grösser der Abstand vom Scheitel, und dass sie endlich ein auf Längs und Querschnitten ungefähr gleich aussehendes Gewebe bilden, wie es auf Taf. IV. Fig. 14 dargestellt ist. — Der gelbe Farbstoff der Rinde ist in die Membran der oberflächlichen Zellen eingelagert; das tiefer liegende Gewebe ist farblos. Eben so beruht auch die braune Färbung der Spitze, die übrigens keineswegs constant ist, auf der Einlagerung des Farbstoffes in die Membran.

Die soliden Medullarstränge (Taf. IV. Fig. 13, 15) zeigen mit Rücksicht auf Grösse und Zahl beträchtliche Abstufungen. Sie sind zuweilen sehr dünn, so dass sie, selbst wenn sie in grösserer Zahl (10—12) vorhanden sind, dem Volumen nach nur einen kleinen Theil des ganzen Markgewebes ausmachen; in anderen Fällen dagegen, jedoch nur in der Nähe der Basis, so massenhaft, dass sie, in einen einzigen grossen Strang verschmolzen, fast den ganzen von der Rinde umschlossenen Hohlraum ausfüllen. Die nach unten wachsenden Fasern des Basaltheils vermitteln in ähnlicher Weise, wie bei Usnea, die Befestigung des Thallus auf der Unterlage.

Die Gonidien theilen sich zuweilen nicht bloss in 8—10, sondern in 20—30 Zellen und darüber. Ich habe zu wiederholten Malen Gruppen von 16 Mik. Durchmesser beobachtet, welche noch durch den Stiel der Mutterzelle mit einer Faser in Verbindung waren und bei denen man auf der zugekehrten Fläche 15—18 Zellen zählen konnte. Die Soredien entwickeln sich gewöhnlich in grosser Zahl; sie durchbrechen an beliebigen Stellen die Rinde und geben derselben durch ihre Anlagerung auf der Oberfläche ein höckeriges, warziges Aussehen.

E. divaricata L. Von den beiden vorhergehenden Arten dadurch verschieden, dass Mark und Rinde bis zur Spitze scharf von einander getrennt sind, indem sich die letztere in ziemlich gleichmässiger Dicke auch um den Scheitel herumzieht. Die Rindenfasern sind schon ursprünglich vielfach verästelt und verfilzt, wachsen jedoch vorherrschend senkrecht zur Oberfläche. Das ältere Rindengewebe stimmt mit dem der vorhergehenden Art überein. — Das Mark ist lockerfilzig und ohne solide Stränge; seine Fasern verlaufen, wenigstens in den jüngeren Enden, vorherrschend longitudinal. — Die Gonidien sind in der Regel auf den peripherischen Theil des Markes beschränkt; nur in der Nähe der Spitze kommen sie zuweilen auch im Centrum vor.

E. prunastri L. Verhält sich im Wesentlichen eben so; nur besitzen die Soredien, wie bei Usnea, geschlossene Faserhüllen.

E. furfuracea L. Stimmt im Allgemeinen mit den beiden vorhergehenden Arten überein. Die Rinde ist in der Regel sehr dünn, selten über 12—16 Mik. dick, aus stark verdickten und verfilzten Fasern bestehend, deren oberflächliche Zellen eine braungelbe Membran besitzen, auf der oberen und unteren Seite bloss durch die Intensität der Färbung und allfällig auch dadurch verschieden, dass erstere zuweilen mehr oder weniger ausgebleicht ist. — Das Mark ist lockerfilzig, ohne solide Stränge, und nur auf der oberen Seite gonidienführend.

Besondere Erwähnung verdienen die so häufig vorkommenden Prolificationen der oberen Rinde. Sie erscheinen bald als kleine papillenförmige oder keulenförmige Erhebungen über die Oberfläche, bald als grössere halbkugelige oder kugelige Ausstülpungen (Taf. V. Fig. 3), bald auch als strauchartig verzweigte Anhängsel, die zuweilen selbst wieder mit kleineren Vorsprüngen bedeckt sind. In allen Fällen sind diese Bildungen locale Wucherungen der Rindenfasern, welche in gewisser Beziehung an die warzenförmigen Hervorragungen bei Usnea, in anderer an die Adventiväste dieser Pflanze erinnern. Mit jenen stimmen sie mit Rücksicht auf die Form, die Entstehung und den strahligen, vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche gerichteten Faserverlauf, mit diesen durch die übereinstimmende Natur der Fasern und die Fähigkeit, Gonidien zu bilden, überein. Letztere werden gewöhnlich in grosser Zahl erzeugt; sie füllen sowohl in den strauchartigen Anhängseln, als auch in den kleineren, papillenförmigen Auswüchsen das ganze Innere dicht gedrängt aus und bilden im Vergleich mit den spärlich dazwischen verlaufenden Fasern die weitaus grössere Masse. In verhältnissmässig geringerer Zahl finden sie sich in den grösseren Ausstülpungen, deren ganze Physiognomie überhaupt einen vorgerückteren Grad der Entwickelung, resp. eine ältere Bildung verräth. Sämmtliche Prolificationen zeigen übrigens in Allem, was nicht unmittelbar mit den Dimensionsverhältnissen und mit ihrer lebhaften Vegetation im Zusammenhang steht, genau das Verhalten der Mutterpflanze. Sie wachsen in derselben Weise weiter, besitzen eine aus kurzzelligen, vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern bestehende, circa 8 Mik. dicke Rinde, ein lockerfilziges, lufthaltiges Markgeflecht mit verlängerten Zellen (30—40 Mik.), und was die strauchartigen betrifft, zuweilen sogar eine übereinstimmende Form.

Hagenia Eschw.

Unter sämmtlichen strauchartigen Flechten ist diess die einzige, bei welcher die Rindenschicht, wie bereits Speerschneider und Körber angegeben, constant nur die obere oder Lichtseite des Thallus bildet, auf der unteren dagegen in grösserer oder kleinerer Entfernung von der Medianlinie plötzlich endigt, so dass im mittleren Theil dieser Seite das lockere Markgewebe, bald mit, bald ohne solide Stränge, zu Tage tritt (Taf. V. Fig. 12). — Der Verlauf der Rindenfasern ist vorherrschend longitudinal, dabei aber doch ziemlich unregelmässig, krummlinig und verworren (Taf. V. Fig. 13), bei den schlankeren Formen in etwas geringerem Grade, als bei den breiteren laubartigen (bei H. leucomelas etwa wie bei Bryopogon). Die Lumina der einzelnen Zellen bleiben zeitlebens klein; die Membran ist stark verdickt und zunächst der Oberfläche, wie gewöhnlich, bräunlich gefärbt. — Die Gonidien liegen, kleinere oder grössere Gruppen bildend, unmittelbar unter der Rinde und zwar, so weit die letztere reicht, sowohl auf der untern als auf der obern Seite. Ihre Vermehrung geschieht in derselben Weise wie bei den vorhergehenden Gattungen.

Durch Auswachsen einzelner Rindenfasern am Rande oder auf der obern oder untern Fläche des Thallus entstehen verschiedene morphologisch gleichwerthige Adventivbildungen, welche bei H. ciliaris und leucomelas als Wimpern, bei H. villosa als Zotten, bei H. speciosa als Haftfasern erscheinen. Sie bestehen sämmtlich aus vorherrschend in der Längsrichtung verlaufenden Fasern, die zu einem dichten, durch und durch soliden Gewebe verbunden sind und nie Gonidien bilden.

H. ciliaris L. Die Oberfläche der Rinde ist mit zahlreichen, zum Theil isolirten, zum Theil auch mit einander verbundenen und verflochtenen Faserästen besetzt, welche derselben das bekannte sammetartige Aussehen verleihen. Die Markschicht ist zuweilen fast auf der ganzen untern Fläche, in andern Fällen nur in einem schmalen mittleren Streifen unbedeckt.

H. leucomelas L. Stimmt im Querschnitt sowohl in Bezug auf die unvollständige Umrindung des Thallus, als auch auf die relative Mächtigkeit und die unregelmässige Begrenzung der Rindenschicht vollkommen mit der vorhergehenden Art überein. Der Längsschnitt durch die Rinde zeigt einen vorherrschend longitudinalen Faserverlauf und langgestreckte Rindenzellen (wie bei Bryopogon).

H. villosa (Physcia villosa Schaer.). Im Querschnitt wie die vorhergehenden Arten. Faserverlauf wie bei H. ciliaris.

H. speciosa (Parmelia speciosa Ach.) Stimmt im Quer- und Längsschnitt mit den vorhergehenden Arten überein. Zahlreiche solide Markstränge bilden zuweilen auf der untern Fläche des Thallus ein ziemlich dichtfilziges, jedoch nie interstitienloses Gewebe, das weder vom tiefer liegenden lockern Markgeflecht, noch von der in der Nähe des Randes endigenden Rindenschicht deutlich abgegrenzt ist. Die Haftfasern, mittelst welcher der laubartige Thallus sich lose mit dem Substrat verbindet, sind randständig und hinsichtlich ihrer Structur von den Wimpern der beiden erstgenannten Arten nicht verschieden.

Anmerkung. Speerschneider (Anat. der H. ciliaris, Bot. Zeit. 1551. p. 593) beschreibt die Rindenschicht als ein Gewebe, »das aus fadenförmigen, in der Längenaxe des Thallus über, unter und neben einander verlaufenden, theils sich gegenseitig an einander legenden, theils sich von einander entfernenden, aber durch Zweige verfilzten Zellen besteht, die also von überall mit einander auf das mannigfachste communicirenden Höhlungen umgeben sind,« in welche sich wahrscheinlich wie zwischen die Zellen »eine amorphe Masse (Schleim?)« von den Fadenzellen aus ablagere. Auf der Oberfläche, zwischen und auf den Fortsätzen der peripherischen Rindenzellen, befinde sich eine dünne Schicht kleiner kugeliger Körnchen, die der Flechte zum grössten Theil ihre aschgraue Färbung verleihen. Diese Angaben sind unrichtig. Jene communicirenden Höhlungen existiren in der Wirklichkeit nicht, indem die Rindenschicht sowohl bei Hagenia, als bei allen übrigen mir bekannten Flechten aus einem interstitienlosen Gewebe besteht, dessen einzelne Fasern sich unmittelbar mit ihren Membranen berühren. Die vermeintlichen Körnchen auf der Oberfläche sind wahrscheinlich nichts Anderes als quer geschnittene, bis zum Verschwinden des Lumens verdickte Faserfortsätze oder aber Bildungen, die nicht zur Pflanze gehören. — Einige andere Behauptungen: dass das Gonidium von einer doppelten, farblosen Membran umschlossen sei (denn die Zellen erscheinen mit doppelten Conturen umschrieben) und im Innern eine etwas kleinere Zelle einschliesse, die einen grünlichen, anfangs homogenen Inhalt besitze, in welchem sich nach und nach Körnchen, endlich wirkliche Zellen hervorbilden; dass die Rindensubstanz durch Jod und Schwefelsäure braun gefärbt werde etc., bedürfen bei dem heutigen Stande der Wissenschaft keiner Widerlegung.

Körber (S. L. G. pag. 49) macht bezüglich der Wimpern am Rande und auf der obern Fläche des Thallus irrthümlicher Weise die Bemerkung, es sei an eine nähere Analogie zwischen denselben und den Haftfasern der laubartigen Flechten nicht zu denken, weil erstere lediglich Fortsätze der Rindenschicht seien, während die letzteren (wie an anderen Stellen angegeben wird) aus Markzellen (Röhrenzellen) bestehen. Die Wahrheit ist die, dass wo die Rindenschicht die obere und untere Seite des Thallus bildet, denselben also allseitig umschliesst (wie diess z. B. bei Imbricaria, Parmelia, Sticta, Nephroma u. a. der Fall ist), die Haftfasern in gleicher Weise wie die Wimpern durch Auswachsen der Rindenzellen entstehen, folglich allerdings als analoge Bildungen zu betrachten sind. Näheres hierüber soll später, wenn von den anatomischen Verhältnissen der laubartigen Flechten die Rede sein wird, mitgetheilt werden.

Sphaerophorus Pers.

Die cylindrischen, meist halbkugelig zugerundeten Thallusenden bestehen aus vielfach verästelten und verfilzten Fasern, welche von der Nähe der Axe, wo sie einen vorherrschend longitudinalen Verlauf zeigen, bogenförmig nach aussen divergiren, so dass sie im peripherischen Theil annähernd senkrecht zur Oberfläche verlaufen (Taf. VI, Fig. 1). Demzufolge beruht das Längenwachsthum der Pflanze auf denselben Erscheinungen, wie bei Evernia und Ramalina: die in der Krümmung des Scheitels liegenden Faserenden rücken in Folge ihres intercalaren und Scheitelwachsthums, sich fortwährend verästelnd, immer weiter vor, bis sie die normale Entfernung von der Axe erreicht haben. Dabei bleibt der oberflächliche Theil des Gewebes bis auf eine ziemlich constante Tiefe dichtfilzig oder interstitienlos und bildet die Rinde, während der tiefer liegende Theil zufolge der Streckung der Zellen, zuweilen vielleicht auch wegen vorwiegender Verästelung der Rindenfasern, sich lockert und lufthaltig wird. Die Grenze zwischen beiden erscheint übrigens bei kräftig vegetirenden Enden nur wegen der auch in die kleinsten Interstitien vordringenden Luft deutlich gezeichnet; in Beziehung auf Dichtigkeit des Gewebes und Länge der Zellen findet ein allmäliger Uebergang statt.

Die Verästlung und das intercalare Wachsthum der Rindenfasern, worauf die Ausdehnung der Rinde in die Fläche und Dicke beruht, führt hier zu einem sehr complicirten, weitmaschigen Fasergeflecht, das sich sowohl auf Quer- als auf Langsschnitten durch dicke Stämme oft weithin verfolgen und construiren lässt (Taf. V, Fig. 16). Einzelne Fasern sieht man in radialer Richtung vom Innenrand der Rinde bis zur Oberfläche und in tangentialer Richtung 150—200 Mik. weit und darüber verlaufen. Hie und da beobachtet man auch junge Faseräste in verschiedenen Stadien der Entwicklung. Dieser hohe Grad von Verfilzung setzt jedoch schon eine bedeutende Dicke des Thallus voraus. Bei einem Durchmesser von 160—200 Mik. und einer Rindendicke von 20—28 Mik. sind die Verästlungen noch verhältnissmässig selten und wo sie vorkommen, sehr einfach; die grosse Mehrzahl der übrigens hier schon stark verdickten Rindenfasern verläuft senkrecht zur Oberfläche. Auch auf Querschnitten von 0,66—0,77 Millm. im Durchmesser mit einer 60—70 Mik. dicken Rinde erscheinen nach Zusatz von Jod die radialen Reihen noch weitaus vorherrschend und bilden mit den vorkommenden Verzweigungen höchstens H förmige oder andere wenig complicirte Figuren (Taf. V, Fig. 14). Der eigenthümliche Character der älteren Rinde tritt erst bei einer Thallusdicke von c. 1 Millm. deutlich hervor und zeigt sich in der auf Taf. V. Fig. 16 dargestellten Weise nur bei den allerdicksten Stämmen (von etwa 1,2—1,5 Millm. im Durchmesser) ausgeprägt.

Für die Berechtigung obiger Annahme, dass die Rindenfasern ein intercalares Wachsthum besitzen, spricht — abgesehen von der sehr ungleichen Länge successiver Zellen, welche bei Usnea mit derselben Erscheinung im Zusammenhange steht — insbesondere auch die mit der Entfernung vom Scheitel wachsende Zahl der Gliederzellen, welche man in einzelnen Fällen zwischen zwei auf einander folgenden Verästlungen beobachtet (wenn nämlich nicht Zweige späteren Ursprunges zwischen früher gebildeten vorkommen).

Die Zelllumina der Rindenfasern bleiben gewöhnlich zeitlebens klein, während die Membran sich bedeutend verdickt (Taf. V, Fig. 15). Nur ausnahmsweise beobachtet man in der älteren Rinde hie und da einzelne Zellen mit erweiterter Höhlung, an deren Wandung die punctförmigen, beliebig vertheilten Inhaltsportionen adhäriren. Die Länge der Rindenzellen steigt nicht über 10—12 Mik.; viele sind kürzer, dennoch füllt der Inhalt das Lumen der Zelle nur selten gleichförmig aus, sondern ist gewöhnlich zu ungefähr gleichen Theilen auf die beiden etwas erweiterten Enden vertheilt.

Das Markgeflecht ist viel dichter als bei Evernia oder Bryopogon und daher auch schon als solid bezeichnet worden (Thallus intus solidus). Es ist aber nichts desto weniger in seiner ganzen Dicke lufthaltig und enthält keine Fasern, welche fest mit einander verwachsen und zu einem soliden Strange verbunden wären. Die Länge der Markfaserzellen nimmt von der Spitze gegen die Basis zu. Etwa 0,5 Millm. vom Scheitel entfernt beträgt dieselbe 20—30 Mik.; sie steigt in der Nähe der Basis grösserer Exemplare bis auf 120—160 Mik. Es versteht sich indess von selbst, dass neben diesen längsten der gemessenen Markzellen, die sich ungefähr um das Sechsfache ihrer ursprünglichen Länge ausgedehnt haben, auch viele kürzere vorkommen, welche später entstandenen Verästlungen angehören. Man beobachtet z. B. häufig solche von nur 60—80 Mik. Länge. Der Inhalt der verlängerten Markfaserzellen ist häufig nicht bloss in 2, sondern in 3, 4 und mehr Portionen getheilt, wovon die zwei grössten gewöhnlich die beiden erweiterten Enden, die kleineren in linienförmiger Anordnung den mittleren Theil des Lumens einnehmen. Nach der Streckung der Markzellen zu schliessen, beruht die Verlängerung des Thallus, resp. der Rinde, zum grösseren Theil auf intercalarem, zum kleineren auf Scheitelwachsthum. Wenn man auch ganz davon absieht, dass schon die obersten Markzellen durch eine nicht unbeträchtliche Dehnung in die Länge aus den in der Krümmung des Scheitels liegenden Rindenzellen entstehen, sondern bloss die Thatsache berücksichtigt, dass die ursprünglich annähernd gleich grossen, etwa 20 Mik. langen Zellen einer den ganzen Thallus durchziehenden (primären) Markfaser in der Nähe der Basis das Sechsfache dieser Länge erreichen, und dass natürlich auch die Rinde sich in demselben Verhältniss ausgedehnt hat, so kommt man auch hier, wie bei Usnea, zu dem Schluss, dass von der Gesammtlänge eines grössern Exemplars nicht weniger als ⅚ auf Rechnung des intercalaren Wachsthums fallen.

Die Gonidien liegen in zerstreuten Gruppen im peripherischen Theil des Markes.

Sphaerophorus coralloides, fragilis, compressus. Alle 3 Arten stimmen im Wesentlichen vollkommen mit einander überein und zeigen keine besonderen Eigenthümlichkeiten.

Roccella D C.

Schon ein flüchtiger Blick auf einen durch die Spitze geführten Längsschnitt (Taf. VI. Fig. 2) genügt, um sich zu überzeugen, dass das Wachsthum der Thallusenden in derselben Weise vor sich geht, wie bei Sphaerophorus, Evernia und den übrigen Flechten mit orthogonal-trajectorischem Faserverlauf. Und zwar gehört es zu den mancherlei Eigenthümlichkeiten dieser Gattung, dass die Rindenfasern nicht bloss in der Nähe des Scheitels, sondern auch in den dicksten Stämmen so genau senkrecht zur Oberfläche verlaufen, als es bei der häufig stattfindenden Verästlung nur irgend denkbar ist; sie stechen gleichsam pallisadenartig aus dem lockerfilzigen Markgewebe hervor. Auch die Dicke der Rinde bleibt zeitlebens so ziemlich dieselbe, sie beträgt 16—20, höchstens 25—30 Mik. Die einzige Veränderung, welche sie mit zunehmender Entfernung vom Scheitel erleidet, besteht in der allmäligen Verdickung der Fasermembran und der dadurch bedingten Verkleinerung der Zellhöhlungen. — Um die Verästlung der Rindenfasern genau zu verfolgen, ist es hinreichend, dieselben durch Zerdrücken von Quer- oder Längsschnitten zu isoliren und das Präparat, um auch die Scheidewände der Zellen deutlich zu machen, mit Jodtinctur zu behandeln. Man sieht alsdann, dass die Rinde aus büschelig-gleichlangen Fasern besteht, von denen oft 8—10 und darüber im peripherischen Theil des Markes mit der nämlichen Faser, durch deren wiederholte Verästlung sie entstanden sind, in Verbindung stehen (Taf. VI. Fig. 3—6). Ihre einzelnen Zellen sind kurz und scheinen sich, nach den häufig vorkommenden Einschnürungen und der Verschiedenheit der Länge zu schliessen, durch intercalare Theilung zu vermehren. Die Membran derselben ist besonders in der Nähe des Randes bräunlich gefärbt.

Das Mark besteht aus einem lockeren, lufthaltigen Filzgewebe, welches schon unmittelbar unter dem Scheitel so verworren aussieht, dass von einer vorherrschend vertretenen Richtung der Fasern kaum die Rede sein kann (Taf. VI. Fig. 2). Diese Thatsache muss im Hinblicke auf die Regelmässigkeit im Verlauf der Rindenfasern, welche in so hohem Grade bei keiner anderen Flechte wahrgenommen wird, um so eher auffallen, als sich a priori gerade das Gegentheil hätte erwarten lassen. Ist ja doch das Markgewebe, dessen Zuwachs in der Krümmung des Scheitels auf der Streckung der inneren Rindenzellen beruht, in seiner Grundlage nichts anderes, als das aus einander gezogene Rindengeflecht. Wenn man aber bedenkt, dass die häufigen Verästlungen der Faserenden nothwendig ein lebhaftes Flächenwachsthum veranlassen müssen, welches seinerseits eine rasche Vergrösserung der Verzweigungswinkel älterer Faseräste — weil jüngere zwischen denselben auftreten — zur Folge hat und daher auch die Verästlung der Markfasern in jeder beliebigen Richtung begünstigt; wenn man ferner erwägt, dass die häufig vorkommende Copulation zwischen benachbarten Rindenfasern mancherlei Unregelmässigkeiten hervorrufen muss, welche um so deutlicher hervortreten, je grösser die Streckung der Zellen: so erscheint es ganz natürlich, dass das Markgewebe schon von Anfang an aus sehr unregelmässig verflochtenen Fasern besteht, deren ursprüngliche Wachsthumsrichtung nach so vielfachen Störungen sich meist nicht mehr erkennen lässt.

Die Wandung der Markfaserzellen ist fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickt, so dass die Scheidewände auch nach Zusatz von Jod nur selten deutlich erkannt, und folglich die Längenbestimmungen unsicher werden. Sicher ist nur, dass die Markfaserzellen jedenfalls eine sehr beträchtliche Streckung erleiden.

Die Gonidien liegen zerstreut im peripherischen Theile des Markes. Sie stehen mit den Fasern meist bloss durch eine seitliche Ausstülpung (Taf. VI. Fig. 7, 9), seltener durch eine besondere Stielzelle (Fig. 8) in Verbindung. Da die Stiele sehr dick sind, so erfolgt eine Trennung nicht so leicht, als bei den meisten übrigen Flechten; man sieht daher viele Gonidien auch nach dem Zerdrücken des Präparates noch in ihrer ursprünglichen Lage.

Die Vermehrung der Gonidien findet in eigenthümlicher Weise statt. Während sie bei sämmtlichen bisher betrachteten Flechtengattungen auf dem bekannten Theilungsprocess beruht, begegnen wir hier ausnahmsweise einem Vorgang, welcher an die Vermehrung des Gährungspilzes erinnert. Die Mutterzelle treibt nämlich an einer beliebigen Stelle, vom Anheftungspuncte aus gesehen gewöhnlich seitwärts, eine Ausstülpung hervor, welche Anfangs durch eine schwache Einschnürung, später durch eine Scheidewand abgegrenzt erscheint. Indem sich derselbe Process auf einem andern Puncte der nämlichen Zelle oder auch in der neugebildeten Tochterzelle wiederholt, entstehen Gruppirungen, wie sie auf Taf. VI. Fig. 10—16 dargestellt sind. Die tiefen Einschnürungen, welche man häufig zwischen ausgewachsenen Zellen einer Gruppe beobachtet, machen es wahrscheinlich, dass sich dieselben endlich von einander trennen, um möglicher Weise den nämlichen Vorgang von Neuem einzuleiten.

Die Soredienanhäufungen auf der Oberfläche des Thallus bestehen aus einem lockeren, lufthaltigen Geflecht vielfach verästelter Fasern mit Tausenden von zarten Enden und zahlreichen Gonidien, welche die eben erwähnten Ausstülpungen zeigen. Eine Verzweigung der Stielzelle, wie sie bei den vorhergehenden Gattungen vorkommt, habe ich hier nicht beobachtet. Die Bildung der Soredienhäufchen scheint im Gegentheil auf localen Wucherungen der peripherischen Markfasern und auf der Neubildung von Gonidien (nicht auf Theilung schon vorhandener) zu beruhen. Wenigstens habe ich mich zu wiederholten Malen überzeugt, dass die meisten der in das Fasergeflecht der Soredien eingebetteten Gonidien auf Stielen sitzen, woraus hervorgeht, dass der besprochene Vermehrungsprocess vorzugsweise auf die Bildung zusammenhängender Gruppen beschränkt sein muss.

Die 3 Arten dieser Gattung: R. tinctoria, fuciformis, phycopsis verhalten sich gleich.

Thamnolia Ach.

Bekanntlich wird diese von Acharius aufgestellte Gattung von den meisten ältern und neuern Autoren bei den Cladonien untergebracht, und zwar nicht einmal als eine eigene Species, sondern als Varietät oder Monstrosität von Cladonia gracilis oder C. amaurocraea. Es unterliegt auch gar keinem Zweifel, dass diese Pflanze sowohl durch ihre äussere Form, als durch das dichtfilzige (solide), einen Hohlcylinder bildende Markgewebe eine nicht zu verkennende Verwandtschaft mit den Cladonien beurkundet und dass sie besonders den beiden angeführten Arten habituell sehr nahe steht; allein auf der andern Seite spricht nicht bloss das constante Fehlen eines Protothallus, sondern namentlich auch das abweichende Verhalten der Thallusenden entschieden dafür, dass Thamnolia als ein besonderes Genus und nicht als eine Varietät irgend einer Spezies von Cladonia, am allerwenigsten als eine krankhafte Bildung zu betrachten sei. Es ist nämlich durchaus unrichtig, »dass der Thallus nur aus der blossgelegten faserigen Markschicht besteht« (Kbr. S. L. G. pag. 27); er unterscheidet sich im Gegentheil gerade dadurch von dem Säulchen der Cladonien (s. d.), dass er eine continuirliche, auch im Scheitel entwickelte Rindenschicht besitzt (Taf. VI. Fig. 21, 22), während sich jenes durch das peripherische Auftreten der Gonidien und die erst später erfolgende Berindung characterisirt.

Die Rindenfasern sind kurzzellig, meist deutlich gegliedert; sie verlaufen, obgleich ziemlich stark verästelt und verfilzt, doch vorherrschend senkrecht zur Oberfläche. Die Dicke der ganzen Schicht beträgt in der Nähe des Scheitels 30—40 Mik., weiter unten — wahrscheinlich in Folge der Verwitterung — bloss 16—24 Mik. Die Zelllumina bleiben zeitlebens sehr klein, während die Membran sich beträchtlich verdickt.

Das Mark besteht aus einem dichten Filzgewebe, dessen einzelne Fasern in vorherrschend longitudinaler Richtung verlaufen und zwischen den Gonidien hindurch bogenförmig gegen die Rinde ausbiegen. Die Faserzellen sind wie gewöhnlich beträchtlich in die Länge gezogen, so dass sich der Inhalt auf die beiden etwas erweiterten Enden vertheilt.

In der Nähe der Spitze erscheint das Markgewebe als solider Cylinder, weiter nach unten, nachdem sich in der Mitte zufolge der vorwiegenden Entwickelung des peripherischen Theils eine Höhlung gebildet hat, als Cylindermantel (Taf. IV. Fig. 22).

Die Gonidien liegen unmittelbar unter der Rinde und vermehren sich durch Theilung in 2, 4, 8 und mehr Zellen. In selteneren Fällen sieht man deren 12—15 noch von gemeinsamer Membran umgeben. Eigentliche Soredien, d. h. grössere von Fasern durchflochtene Anhäufungen grüner Zellen, habe ich nie beobachtet, einzelne Gruppen dagegen mit beginnender Verästlung der Stielzelle ziemlich häufig.

Der Umstand, dass die Gonidien auch in der Krümmung des Scheiteltheils, wenn auch in geringerer Zahl, vorkommen, wovon ich mich durch mehrere gelungene Längsschnitte überzeugte, und dass sie nichtsdestoweniger im älteren Marke durchaus fehlen, macht es mir wahrscheinlich, dass die zur Untersuchung gewählten Thallusenden schon aufgehört hatten zu wachsen; denn ohne diese Voraussetzung wäre es geradezu unerklärlich, wie die an den Fasern fest sitzenden Gonidien, ungeachtet sich jene durch Scheitelwachsthum allmälig verlängern, fortwährend in derselben Entfernung vom Rande verharren, man müsste denn annehmen, die Schnitte seien nicht genau durch die Mitte geführt und das Wachsthum finde nur in der allernächsten Umgebung der Axe statt, was weder mit dem Faserverlauf, noch mit der Krümmung des Scheiteltheils übereinstimmt.

Thamnolia vermicularis Sw. Die Varietäten α subuliformis und β taurica Sch. stimmen in allen wesentlichen Merkmalen mit einander überein.

Cladonia Hoffm.

1. Der Protothallus.

Wenn ich mit Körber die laubartigen oder krustenartigen Ausbreitungen und die aus denselben hervorgehenden strauchartigen »Podetien« beziehungsweise als Protothallus und Thallus bezeichne, so geschieht diess nur, um für die beiden Generationen, an welche nun einmal die vollständige Ausbildung der Cladonien gebunden ist, passende Benennungen zu haben, durch welche zugleich die Entwickelungsfolge und die thallodische Natur der beiden Gebilde angedeutet wird. Uebrigens bin ich der Ansicht, dass eine richtige Deutung der Podetien und damit auch die Lösung der Frage, ob zwischen denselben und dem Excipulum proprium (das bekanntlich bei einigen Gattungen ebenfalls nach unten verlängert ist) eine nähere Analogie bestehe, nur durch genaue Untersuchungen über die Entwickelung beider Organe gewonnen werden kann.

Der Protothallus ist stets nur auf der obern Seite berindet. Die Rinde erscheint, wie gewöhnlich, als ein vollkommen dichtes Geflecht stark verästelter, kurzzelliger Fasern und bildet eine verhältnissmässig dünne schützende Decke über das lockere, gonidienführende Filzgewebe, aus welchem der ganze übrige Theil der Protothallusschüppchen besteht. Dieses dem Marke der strauchartigen Flechten entsprechende Gewebe, welches eine Mächtigkeit von 200 Mik. und darüber erreicht, erscheint wegen seines grossen Luftgehaltes bei auffallendem Lichte rein weiss (die Farbe der untern Fläche), bei durchfallendem dagegen schwarz. Es enthält in seinem obern Theile, unmittelbar unter der Rinde, die Gonidien, welche hier eine ziemlich zusammenhängende, nach unten unregelmässig vorspringende grüne Zone bilden und sich durch den bekannten Theilungsprocess vermehren.

Die Rindenschicht biegt sich am Rande gewöhnlich etwas nach unten; sie erhält hier sowohl durch die Verästlung ihrer eigenen Fasern als durch den Anschluss der nach aussen und oben wachsenden Verzweigungen der lockeren Faserschicht einen schwachen Zuwachs, in Folge dessen das Protothallusschüppchen sich allmälig vergrössert. In welchem Verhältniss aber diese Vergrösserung zu der auf intercalarem Wachsthum beruhenden Ausdehnung stehe, lässt sich bei der Unregelmässigkeit des lockern Fasergeflechtes nicht ermitteln. Sicher ist nur, dass ein Flächenwachsthum der ältern Rinde stattfindet.

2. Der Thallus (das Podetium).

Wie im Protothallusschüppchen die erste Anlage zum Säulchen entsteht, konnte ich bis jetzt nicht mit Sicherheit ermitteln, da sämmtliche Entwickelungsstadien, die ich zu beobachten Gelegenheit hatte, schon zu weit vorgerückt waren, als dass eine Lösung der hier in erster Linie sich aufdrängenden Fragen noch möglich gewesen wäre. Es scheint mir jedoch, dass dieselben nicht als eine aussergewöhnlich entwickelte Prolification der Protothallusschuppe, d. h. nicht als das Product einer localen Wucherung der Rindenfasern zu betrachten seien; dass sie vielmehr aus dem unter der Rinde liegenden lockern Markgeflecht hervorbrechen, wie sie denn auch später nur mit diesem, nicht mit der Rinde in directer Verbindung stehen (Taf. VII. Fig. 6).

Die Ernährung des jungen Lagersäulchens geschieht anfänglich durch Vermittelung des Protothallus. Später, nachdem seine Markfasern in Folge ihres Wachsthums nach unten das Substrat erreicht haben, auf dem sie sich in strahlenförmigen Bündeln ausbreiten, gelangt es auch physiologisch zu vollständiger Unabhängigkeit. Bekanntlich kommt auch nicht selten der Fall vor, dass vom Protothallus später keine Spur mehr vorhanden ist.

Stehen die Cladonien (und das damit verwandte Genus Stereocaulon) schon durch diese eigenthümliche Entwickelungsweise, die sich als einen förmlichen Generationswechsel herausstellt, im System vereinzelt da, indem ein Protothallus in diesem Sinne bei keiner andern Flechte vorkommt, so ist diess nicht weniger durch das abweichende Verhalten des Thallus (des Podetiums), namentlich in Beziehung auf das Auftreten der Gonidien und die Bildung der Rinde der Fall.

Betrachten wir zunächst die Formen mit pfriemenförmigen Thallusenden, so erinnert zwar die Physiognomie der letztern auf den ersten Blick an manche der bereits besprochenen Flechtenarten, indem die Fasern bald vorherrschend longitudinal, bald schwach divergirend gegen die Oberfläche verlaufen und hier wie gewöhnlich etwas kurzzelliger und stärker verästelt sind. Allein bei einer genauern Prüfung durch Längs- oder successive Querschnitte muss es sogleich auffallen, dass die Gonidien nicht, wie gewöhnlich, innerhalb einer dichtfilzigen Rindenschicht, sondern unmittelbar an der Oberfläche von den locker verfilzten Verästlungen peripherischer Fasern erzeugt werden (Taf. VI. Fig. 24, 25; Taf. VII. Fig. 1, 8). Dieselben treten übrigens in der Nähe der Spitze meist sehr spärlich auf und bilden erst weiter unten, nachdem sie sich durch Theilung vermehrt haben, grössere Gruppen oder Nester. Ihre Gegenwart scheint das Wachsthum und die Verästlung der Fasern, aus denen sie entstanden, wesentlich zu begünstigen. Diese letzteren vegetiren kräftig fort, schliessen die Gonidien immer dichter in ihr Geflecht ein und vereinigen sich endlich über denselben zu einem interstitienlosen Rindengewebe, welches sich indess bloss über die mit Gonidien versehenen Stellen ausdehnt und dann plötzlich oder allmälig aufhört (Taf. VII. Fig. 1, 3, 4). Indem diese kleinen Rindenfragmente, welche man schon bei auffallendem Lichte als glatte, gelbliche Erhabenheiten auf hellerem, staubigem Grunde erkennt, mit zunehmender Entfernung vom Scheitel — entsprechend der Vermehrung der Gonidien — sich ausdehnen und hie und da mit einander verschmelzen, bilden sie möglicher Weise auf grössern Strecken eine zusammenhängende Schicht, so dass der ältere Thallus stellenweise vollkommen umrindet erscheint, so bei C. furcata.

Als Gegenstück zu diesem letzteren Beispiel kann aber auch der Fall vorkommen, dass die Rindenbildung vollständig unterbleibt und die Gonidien zeitlebens in ein lockeres peripherisches Fasergeflecht eingebettet erscheinen. So verhält sich z. B. C. rangiferina, wo der Thallus von oben bis unten mit zahllosen, meist Soredien bildenden Gonidien bedeckt ist, welche demselben das bekannte feinfilzig-staubige Aussehen verleihen (Taf. VII. Fig. 9, Stück eines Querschnittes durch den Thallus).

Wir begegnen derselben Erscheinung auch bei den Arten mit becherförmigen Enden, deren eigenthümlicher Habitus überhaupt einzig und allein auf der aussergewöhnlichen Verzweigungsweise beruht. Während nämlich bei den cylindrischen Formen die Fasern der Thallusspitze in der Regel nur nach zwei, selten nach mehreren Richtungen aus einander treten und dadurch eben so viele von einander getrennte Zweige bilden, divergiren sie hier strahlenförmig wie die Seitenlinien eines umgekehrten Kegels, ohne in tangentialer Richtung sich von einander zu trennen. Längsschnitte durch die auf diese Weise entstehenden trichterförmigen Gebilde sehen gerade so aus, als ob der Schnitt durch die beiden Zweige einer Dichotomie geführt worden wäre (Taf. VII. Fig. 7). Die Spitzen bestehen aus verästelten, gewöhnlich etwas gelblich gefärbten, bogenförmig gegen die Oberfläche verlaufenden Fasern, deren peripherische Verästlungen in sehr geringer Entfernung vom Scheitel die Gonidien erzeugen. Eine Rindenschicht kommt, stellenweise entwickelt, bei C. squamosa vor (Taf. VII. Fig. 4); sie fehlt dagegen vollständig (wenigstens an den untersuchten Exemplaren) bei C. brachiata Fr.

Die blattartigen Schuppen, womit der Thallus einiger Arten gewöhnlich bekleidet ist, und welche bekanntlich in Hinsicht auf Grösse, Form und Neigungsverhältnisse die grösste Mannigfaltigkeit zeigen, entstehen nach meinen bisherigen Untersuchungen, die indess über diesen Gegenstand noch lückenhaft sind, nicht immer auf dieselbe Weise. Bei C. squamosa sind es z. B. die kleinen Rindenschüppchen, welche sich auf der der Basis zugekehrten Seite vom lockern Fasergeflecht ablösen und, indem sie sich wie ein Ventil um ihr oberes Ende drehen, allmälig eine horizontale Lage annehmen (Taf. VII. Fig. 5, 2), wobei natürlich die Ursache dieser Bewegung in der vorwiegenden Entwickelung der lockern Faserschicht unterhalb der Anheftungsstelle zu suchen ist. In andern Fällen, wenn nämlich der Thallus stellenweise mit einer zusammenhängenden Rindenschicht bekleidet ist, sind es kleinere Stücke dieser letztern, welche sich in ähnlicher Weise abheben und aufrichten, indem sie mit ihrem einen Ende mit der Rinde im Zusammenhang bleiben (Taf. VI. Fig. 19). Die Stellen auf der Thallusoberfläche, welche durch diesen Vorgang entblösst wurden, besitzen natürlich Anfangs dieselbe Grösse, wie die zugehörigen Schüppchen.

Vielleicht sind drittens auch die kleinen Erhabenheiten, welche man hie und da auf der Oberfläche wahrnimmt und über welche sich die Rinde ununterbrochen hinwegzieht, als erste Entwickelungsstadien blattartiger Schüppchen anzusehen. Man müsste in diesem Falle annehmen, das Aufreissen der Rinde geschehe erst später, nachdem diese Hervorragungen eine gewisse Grösse erreicht haben, und zwar am wahrscheinlichsten an der Spitze derselben. Dass wirklich ein ähnlicher Vorgang zuweilen statt hat, ist nach Querschnitten durch grössere blattartige Auswüchse, deren Basis auf beiden Seiten berindet ist (Taf. VI. Fig. 20), in hohem Grade wahrscheinlich; es fehlt bloss an Uebergangsstadien, um hierüber vollkommene Gewissheit zu erlangen.

Die blattartigen Schuppen stimmen übrigens, welches auch der Ursprung derselben sei, hinsichtlich ihrer Structur vollkommen mit einander überein. Sie wachsen in gleicher Weise, wie der Protothallus, in die Fläche und bestehen ebenfalls aus einer dem Lichte zugekehrten Rindenschicht und einem lockern, gonidienführenden Fasergeflecht, in welchem zuweilen einzelne solide Knäuel vorkommen. Dagegen geht ihnen das Vermögen, Podetien zu entwickeln, ab.

Die Markschicht des Thallus, d. h. das innerhalb der Gonidien liegende, interstitienlose Fasergeflecht, bildet, wie bei Thamnolia, einen hohlen, gegen den Scheitel kegelförmig zugespitzten Cylinder und besteht aus vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern mit verlängerten Zellen, deren Membran beträchtlich verdickt und deren Lumen, wie gewöhnlich, sehr klein ist. Der zunächst dem Innenrand gelegene Theil des Gewebes erscheint unter dem Microscop meist etwas heller, weil hier eine stärkere Verdickung der Fasern und eine sehr innige Verschmelzung derselben stattfindet. Im älteren Marke macht man zuweilen die Beobachtung, dass nur dieser innere Theil noch lebensfrisch erhalten ist, während der ganze übrige Spuren der Zersetzung zeigt.

Die Bildung der blattähnlichen Schuppen bleibt in der Regel ohne allen Einfluss auf das Mark. In einzelnen Fällen jedoch — wahrscheinlich dann, wenn jene aus den oben erwähnten, allseitig berindeten Hervorragungen entstehen — sendet die solide Markröhre einen kleineren oder grösseren Fortsatz in den Basaltheil der Prolification, wie diess z. B. in dem auf Taf. VI. Fig. 20 dargestellten Querschnitt der Fall ist.

An den Verzweigungsstellen beobachtet man eine ähnliche Kreuzung der Fasern, wie im Marke von Usnea oder in der Rinde von Bryopogon.

Cladonia furcata Schreb. Die pfriemenförmigen Thallusenden stimmen in Bezug auf den Faserverlauf, die Lagerung der Gonidien und die Entwickelung der Rindenschicht mit denen von C. stellata uncialis (Taf. VI. Fig. 23—25) überein. In der Nähe der Spitze fehlt die Rinde entweder vollständig oder ist doch bloss auf einzelne Stellen der Oberfläche beschränkt. Weiter unten dagegen bildet sie nicht selten auf grössere Strecken eine zusammenhängende, circa 8—20 Mik. dicke Schicht, die sich bei gewissen Varietäten häufig stellenweise ablöst und die bekannten Prolificationen bildet oder auch ganz wegfällt. Bezüglich der letzteren verweise ich auf das bereits Gesagte und auf die Fig. 18—20 auf Taf. VI.

C. stellata Schaer. var. uncialis. Auf Längsschnitten durch die Thallusenden (Taf. VI. Fig. 25) treten die grünen Zellen oft erst in beträchtlicher Entfernung von der Spitze auf. Man überzeugt sich indessen durch successive Querschnitte (Taf. VI. Fig. 23, 24) oder durch Längsansichten ganzer Enden (in Kali), dass ihre obersten Gruppen, die freilich sehr sparsam auf der Oberfläche zerstreut sind, durchschnittlich nicht über 80—90 Mik. vom Scheitel abstehen. Eine Rindenschicht kommt erst weiter unten zur Entwickelung; sie erreicht im alten Thallus eine Dicke von 10—30 Mik., zeigt übrigens auch hier häufige Unterbrechungen. (Hiezu Taf. VI. Fig. 26, Längsschnitt durch die Rinde und das Mark).

C. turgida Ehrh. Verhält sich im Allgemeinen wie die vorhergehenden. Die stellenweis entwickelte Rindenschicht, die indess erst in einiger Entfernung von der Spitze zum Vorschein kommt (Taf. VII. Fig. 1), gibt der Oberfläche des Thallus ein getüpfeltes Aussehen, indem die gelblichen Rindenschüppchen sich deutlich vom weissen Grunde abzeichnen.

C. gracilis L. var. chordalis. Verhält sich im Wesentlichen ebenso. Die Rindenschüppchen treten schon unmittelbar unter der Spitze auf. Eine vollständige Umrindung des Thallus habe ich nirgends beobachtet. (Hiezu Taf. VI. Fig. 27, Querschnitt durch den Thallus).

C. squamosa Hoffm. Ausgezeichnet durch die grosse Zahl der kleinen Schüppchen, womit die jungen Thallusenden bekleidet sind (Taf. VII. Fig. 4). Manche derselben sind mehr oder weniger abstehend (Fig. 5, 2), andere den Gonidiengruppen mützenförmig aufgesetzt. Eine zusammenhängende Rindenschicht kommt nirgends vor.

C. rangiferina L. Die Thallusenden zeigen sehr verschiedene Formen. Normal sind sie abgerundet, wie bei den übrigen Cladonien, in nicht gar seltenen Fällen dagegen in eine lange, parallelfaserige Spitze ausgezogen, zuweilen auch breitgedrückt, unregelmässig lappig etc. Die Rindenbildung unterbleibt hier, wie bereits erwähnt, vollständig. Die Gonidien liegen unmittelbar an der Oberfläche, eingebettet in ein lockeres, lufthaltiges Fasergeflecht, welches durch Verästlung der peripherischen Markfasern entsteht (Taf. VII. Fig. 9, Stück eines Querschnittes durch den Thallus).

C. pyxidata L. Ebenfalls durch das vollständige Fehlen einer Rindenschicht characterisirt. Die Thallusoberfläche ist bis an den Rand der Becherchen mit Gonidien und Soredien bedeckt, welche, wie bei vorhergehender Art, in ein lufthaltiges Filzgewebe eingebettet sind. Der Rand selbst besteht aus bogenförmig gegen die Oberfläche verlaufenden, gelblich gefärbten Fasern. Die Soredien besitzen ziemlich dichtfilzige Faserhüllen. (Hiezu Taf. VII. Fig. 7, 8, Längsschnitt durch das Becherchen).

C. brachiata Fr. Stimmt mit der vorhergehenden überein.

Stereocaulon Schreb.

Aus dem körnig schuppigen, aus gonidienführenden Faserknäueln bestehenden Protothallus erheben sich die strauchartig verzweigten, thallodischen Stiele (Podetien). Auf Durchschnitten durch die letzteren, besonders deutlich auf Längsschnitten, springt sogleich der Unterschied zwischen dem centralen und dem peripherischen Theil in die Augen. Dieser erscheint als ein verworrenes Geflecht kurzzelliger Fasern, welche in Folge der starken Verdickung ihrer Membranen 5—12 Mik. im Durchmesser erreichen; er kann indess nicht als eine eigentliche Rindenschicht, sondern bloss als eine dem peripherischen Fasergeflecht mancher Cladonien (z. B. C. rangiferina) analoge Bildung betrachtet werden, indem das Gewebe, obgleich ziemlich dichtfilzig, doch durchgehends lufthaltig ist und sowohl in der Nähe der Oberfläche als tiefer im Innern Gonidien enthält. Der centrale Theil dagegen oder das Mark besteht aus vorherrschend longitudinal verlaufenden, nicht über 2—3 Mik. dicken Fasern, die übrigens ebenfalls ein lufthaltiges, jedoch ziemlich dichtfilziges Gewebe darstellen. Die einzelnen Zellen sind mehr oder weniger langgestreckt; der Inhalt ist daher häufig unterbrochen und vorzugsweise auf die etwas erweiterten Zellenden vertheilt.

Wie der Stamm, so verhalten sich auch die Aeste. An der Verzweigungsstelle beobachtet man häufig, so oft nämlich die Verästlung unterhalb der Spitze stattgefunden hat, eine deutliche Kreuzung der Markfasern, welche in gleicher Weise, wie bei Usnea, durch die nach unten wachsenden Markfasern des Astes hervorgerufen wird (Taf. VII. Fig 10. 11). Beruht dagegen die Verzweigung auf der Gabelung der Stammspitze, so erscheint auch die Fasermasse des Markes dichotomisch getheilt, und eine Kreuzung findet entweder gar nicht, oder doch nur in der Achsel der Gabelzweige und in weit geringerem Grade statt.

Die Gonidien verhalten sich wie bei den meisten vorhergehenden Gattungen. Sie finden sich nur im peripherischen Fasergeflecht und bilden hier kleinere oder grössere Gruppen oder Nester, in deren Umgebung das Wachsthum und die Verästlung der Fasern besonders lebhaft zu sein scheint. Ihre Vermehrung beruht auf Theilung.

Ich habe im Vorhergehenden bloss die anatomischen Verhältnisse berücksichtigt, um nachträglich die Art und Weise des Wachsthums noch besonders zu betrachten. Die Thallusspitze besteht aus einem äusserst verworrenen Fasergeflecht, das sich vom peripherischen Theil des ältern Thallus nur dadurch unterscheidet, dass die Fasern hier noch sehr zarte Wandungen besitzen. Im Innern dieses Faserknäuels, sowohl im mittleren Theil als in der Nähe der Oberfläche, bilden sich zahlreiche Gonidien, zwischen welchen sich die Fasern des Markstranges, welcher etwas weiter nach unten deutlich hervortritt, in verschiedenen Richtungen verlieren (Taf. VII. Fig. 10. 11). Wie kommt es nun, dass der ältere Thallus bloss im peripherischen Theil Gonidien enthält, während dieselben in der Thallusspitze auch in der Mitte vorkommen? Oder mit andern Worten: wie entsteht im gonidienführenden Fasergeflecht des Scheiteltheils der gonidienlose Markstrang? Nach Allem, was ich hierüber beobachten konnte, bleibt mir nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass die im centralen Theil der Thallusspitze, in einer gewissen Entfernung vom Scheitel und von der Oberfläche entstehenden Faseräste sich nicht wie die übrigen in den verschiedensten Richtungen kreuzen und verfilzen, sondern annähernd parallel nach unten verlaufen und zwischen den Fasern des Markstranges endigen; dass hinwiederum diese letztern in entgegengesetzter Richtung weiter wachsen und in den terminalen Faserknäuel eindringen. Es entsteht auf diese Weise ein Bündel paralleler Fasern, welches als Fortsetzung des Markstranges nach oben die Gonidien allmälig aus dem mittlern Theil der Thallusenden verdrängt und welches später in Folge seines überwiegenden Dickenwachsthums die Hauptmasse des Thallus bildet.

Wenn das Punctum vegetationis des terminalen Faserknäuels sich in zwei theilt, so findet in Folge dessen auch der eben beschriebene Vorgang im Innern desselben in zwei entsprechenden Puncten statt, und es entsteht eine Dichotomie. Der eine der beiden Zweige bleibt indess in seiner Entwickelung meist hinter dem andern zurück.

Zu Gunsten dieser Annahme spricht namentlich auch das Verhalten der Adventiväste. Dieselben erscheinen anfänglich als durch und durch verworren-filzige Faserknäuel, die nur unbedeutend nach aussen vorspringen. Erst später entstehen im mittleren Theile einzelne parallele Fasern, deren Wachsthumsrichtung mit der Thallusaxe einen rechten Winkel bildet und welche offenbar als die erste Anlage des Markstranges zu betrachten sind. In einem etwas vorgerückteren Stadium ist der letztere, obgleich im Verhältniss zur Dicke des jungen Astes noch sehr dünn, schon deutlich abgegrenzt (Taf. VII. Fig. 10). Diese Fasern und ihre Verästlungen wachsen sowohl nach unten als nach oben; sie erreichen im ersteren Falle bald die Markschicht des Stammes und dringen oft tief in dieselbe ein, so dass man einzelne Faserenden selbst in der Nähe der gegenüberliegenden Seite des Markes bemerkt. Im zweiten Falle dagegen verlieren sie sich im Fasergeflecht des Scheiteltheils und verhalten sich ganz wie die Fasern der Stammspitze. Die weitere Entwickelung des Adventivastes stimmt überhaupt mit der des Stammes vollkommen überein.

Die Bildung des Markstranges ist jedoch trotz dieser Thatsachen, auf welche sich die gegebene Darstellung stützt, nicht ganz genügend erklärt. Wenn es sich nämlich bestätigt, dass im Wachsthum begriffene Thallusspitzen in der Regel auch in der Mitte Gonidien enthalten, so bleibt es immerhin auffallend, dass keine derselben bei der Entstehung der parallelen Markfasern von diesen letzteren eingeschlossen werden und daher ins Innere des Markstranges zu liegen kommen; dass sie vielmehr ausschliesslich im peripherischen Fasergeflecht sich vorfinden. Um hierüber ganz ins Klare zu kommen, müssen weitere Untersuchungen angestellt werden.

Die von mir untersuchten Arten St. tomentosum, corallinum und alpinum stimmen in allen wesentlichen Puncten mit einander überein.

Lichina AG.

Es lässt sich erwarten, dass diese Gattung, deren Repräsentanten schon durch ihren Standort in der ganzen Classe vereinzelt dastehen, auch in Beziehung auf anatomische Verhältnisse durch mancherlei Eigenthümlichkeiten sich auszeichne. Diess ist auch in der That der Fall. Der Thallus besteht in seiner ganzen Dicke — was sonst nur bei den Collemaceen vorkommt — aus einem interstitienlosen Gewebe, das bloss durch die Lagerung der Gonidien und den abweichenden Verlauf der Fasern in einen centralen und einen peripherischen Theil, in Mark und Rinde, geschieden wird (Taf. VII. Fig. 12). Letztere zieht sich in ziemlich gleichmässiger Dicke rund um den Scheitel herum und erscheint auch hier, wie im ältern Thallus, als ein verworrenes, äusserst kleinzelliges Fasergeflecht, das jedoch zuweilen, wenn nämlich die Zellen sich in tangentiale Reihen ordnen, ein parenchymatisches Aussehen erhält. Die Markschicht zeigt auf Längsschnitten durch die Enden einen auffallend regelmässigen, orthogonal-trajectorischen Faserverlauf, der zwar mit zunehmender Entfernung von der Spitze zufolge der Streckung der Zellen beträchtlich gestört, wegen der Dichtigkeit des Gewebes jedoch nie ganz verwischt wird. Im mittleren Theile des Markes, wo die einzelnen Zellen eine Länge von circa 12—15 Mik. erreichen, besteht diese Störung in der Annäherung zum Parallelismus der Fasern, im peripherischen, wo die Streckung in etwas geringerem Grade stattfindet, in der unregelmässigeren Krümmung derselben (Taf. VII. Fig. 14). Die Verschmelzung der Fasern ist eine sehr innige, die Grösse der Zellhöhlungen durchschnittlich beträchtlicher, die Verdickung der Membran geringer als bei den vorhergehenden Gattungen.

Die Gonidien entstehen, wie gewöhnlich, unmittelbar unter der Rinde und erscheinen bei schwacher Vergrösserung als eine zusammenhängende blaugrüne Zone; da indess ihre Bildung meist schon in der Krümmung des Scheitels beginnt, so bleiben auch im mittleren Theil des Markes einzelne derselben, nämlich die der Thallusaxe zunächst gelegenen, beim Vorrücken des Randes zurück, zuweilen freilich in sehr geringer Menge und vorzugsweise in der Nähe der eigentlichen Gonidienzone.

Die Vermehrung der Gonidien geschieht durch Theilung. Ob die erste Scheidewand, durch welche die Mutterzelle in zwei Tochterzellen getheilt wird, in einer durch das Centrum und den Anheftungspunct gelegten Ebene liege, oder ob sie zur Richtung des Stieles rechtwinkelig stehe, konnte ich nicht mit Bestimmtheit entscheiden, doch glaube ich den ersteren Fall mehrere Male beobachtet zu haben. Jede der beiden Tochterzellen theilt sich hierauf wieder durch eine Wand, welche mit der zuerst gebildeten annähernd parallel läuft. Indem dieser Process sich öfter wiederholt, entstehen kleinere oder grössere Reihen von Zellen, welche je nach der Richtung der umgebenden Fasern und den Hindernissen, die ihrer Verlängerung im Wege stehen, ziemlich geradlinig oder mannigfach gekrümmt erscheinen (Taf. VII. Fig. 13, 14). Das Letztere ist besonders in der Nähe der Rinde der Fall, wo der Faserverlauf wegen der überwiegenden Masse der Gonidien ziemlich unregelmässig und die Streckung der einzelnen Zellen nur gering ist.

Mit der Bildung der Gonidienketten ist indess der Theilungsprocess noch nicht ganz beendigt. Es treten in den einzelnen Gliedern derselben, nachdem sie sich beträchtlich in die Breite ausgedehnt haben, nicht selten längs oder schief verlaufende Wände auf, wodurch dieselben in 2—3 neben einander liegende Zellen getheilt werden (Fig. 13 *d, f*). Die ursprünglichen Glieder der Kette trennen sich sodann häufig in der Weise von einander, dass je zwei auf einander folgende alternirend auf der rechten oder linken Seite sich vollständig von einander ablösen, auf der jedesmal gegenüber liegenden aber noch mit einander verbunden bleiben, so dass ihre Theilzellen in eine Zickzacklinie geordnet erscheinen (Fig. 13 *c, e*).

Die Theilung der Gonidien geht im Verhältniss zum Scheitelwachsthum des Thallus sehr rasch von statten. Schon im mittleren Theil der Thallusspitze beobachtet man Gonidienketten, die mit ihrem obern Ende den Innenrand der Rinde berühren und doch bereits 10—15 oder selbst eine noch grössere Zahl von Gliedern besitzen, von denen häufig einzelne Paare, die sich durch eine schwächere Einschnürung und eine zartere Scheidewand auszeichnen, auf eine eben stattgefundene Theilung schliessen lassen. In der Nähe der Spitze treten übrigens in sämmtlichen Gonidienketten bloss Querwände auf; ein beträchtlicheres Wachsthum in die Dicke und darauf folgende Längstheilung findet erst im ältern Thallus statt.

L. pygmaea und L. confinis stimmen im Wesentlichen, d. h. in Beziehung auf die Structur der Thallusschichten und das Verhalten der Gonidien mit einander überein. Die mir zu Gebote stehenden Exemplare der letztern Art waren indess zur Untersuchung weniger geeignet, daher die vorstehenden Mittheilungen sich vorzugsweise auf L. pygmaea beziehen.

Zusammenstellung der Gattungen.

Die strauchartigen Flechten sind mit Ausnahme von Hagenia und der Cladoniaceen sämmtlich vollständig umrindet. Die Rinde besteht durchgehends aus einem interstitienlosen Fasergeflecht, dessen einzelne Zellen bei stärkerer Verfilzung der Fasern verhältnissmässig kurz, bei vorherrschend longitudinalem Verlaufe derselben dagegen langgestreckt sind. Das von der Rinde umschlossene und durch die Lagerung der Gonidien meist deutlich abgegrenzte Markgewebe ist nur bei Lichina in seiner ganzen Dicke interstitienlos, bei allen übrigen Gattungen dagegen wenigstens theilweise oder auch ganz lockerfilzig. Die Gonidien sind die Endzellen kleiner (meist zweizelliger) Seitensprosse, welche durch Auswachsen der Gliederzellen (nicht der Scheitelzellen) entstehen; sie vermehren sich durch Theilung in 2, 4, 8 und mehr Zellen, nur bei Roccella durch Ausstülpung. Das Product der Theilung ist bei Lichina eine vielgliederige Gonidienkette, bei allen übrigen Gattungen eine annähernd kugelförmige Gonidiengruppe. Die Gonidien als solche sind keine Fortpflanzungsorgane, sie wachsen nie in Fasern aus; auch in den Soredien kommt das Vermögen zu keimen nicht ihnen, sondern bloss den Fasern zu, welche dieselben umgeben.

Gattungen.

A. Fasern der Thallusenden unter sich und mit der Thallusaxe parallel.

Usneaceae.

Usnea. Thallus stielrund. Rinde in der Nähe der Spitze parallelfaserig, weiter unten ein unregelmässiges, verworrenes Filzgewebe. Mark aus einem centralen dichtfilzigen Medullarstrang mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf und einem peripherischen lockerfilzigen Fasergeflecht bestehend. — Mit Soredialästen.

Bryopogon. Thallus stielrund. Rinde durchgehends parallelfaserig, von ziemlich gleichmässiger Dicke. Mark lockerfilzig.

Cornicularia. Thallus stielrund. Rinde von sehr ungleichmässiger Dicke, aus vorherrschend longitudinal verlaufenden, in grösserer Entfernung von der Spitze jedoch ziemlich stark verflochtenen Fasern bestehend. Mark lockerfilzig, hie und da bis zur Oberfläche vorspringend.

B. Fasern der Thallusenden zu einem verworrenen Filzgewebe verflochten oder in vorherrschend orthogonal-trajectorischer Richtung gegen die Oberfläche verlaufend.

Ramalineae.

Cetraria. Thallus kantig-rundlich oder laubartig. Rinde ein unregelmässiges Filzgewebe, nur die innere Hälfte zuweilen mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf und verlängerten Zellen, das kurzzellige Rindengeflecht häufig mit auffallend grossen Zellhöhlungen. Mark lockerfilzig.

Ramalina. Thallus plattgedrückt. Rinde ein verworrenes Filzgewebe, zuweilen mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf, zeitlebens kleinzellig. Mark lockerfilzig, mit zahlreichen, meist mit der Rinde verschmolzenen soliden Strängen.

Evernia. Thallus kantig-rundlich oder plattgedrückt. Rinde ein verworrenes, kleinzelliges Fasergeflecht (nur bei E. flavicans parallelfaserig). Mark lockerfilzig, mit oder ohne solide Stränge.

Hagenia. Thallus blattartig, nur auf der obern Seite und an den Rändern berindet. Rinde von beträchtlicher, aber ungleichmässiger Dicke, aus verworren verfilzten Fasern bestehend. Mark lockerfilzig, mit oder ohne solide Stränge.

Sphaerophoreae.

Sphaerophorus. Thallus stielrund. Jüngere Rinde aus vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden, ältere aus vielfach verästelten, eigenthümlich verfilzten Fasern bestehend. Mark ziemlich dichtfilzig, jedoch ohne solide Stränge, mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf.

⁂

Roccella. Thallus stielrund. Rinde aus senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden, büschelig verzweigten Fasern bestehend. Mark ein verworrenes, lockeres Fasergeflecht. — Vermehrung der Gonidien durch Ausstülpung.

⁂

Thamnolia. Thallus walzig-pfriemenförmig. Rinde aus sehr kleinzelligen, vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden Fasern bestehend. Mark ein solider Hohlcylinder mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf.

Cladoniaceae.

Cladonia. Zwei Generationen: Thallus und Podetium (Protothallus und Thallus); ersterer blattartig oder krustenartig, nur auf der obern Seite berindet, mit lockerfilzigem Marke; letzteres verschiedengestaltig, hohl, mit peripherischer Gonidienbildung und bloss stellenweise vorhandener Rindenschicht. Rinde ein verworrenes Filzgewebe, unterhalb der Spitze aus den die Gonidien überwuchernden Fasern entstehend. Mark solid, mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf.

Stereocaulon. Thallus krustenartig, häufig fehlend. Podetium aus einem centralen, ziemlich dichtfilzigen, jedoch nicht soliden Markcylinder bestehend, umgeben von peripherischen Faserknäueln, in welchen die Gonidien liegen. Ohne eigentliche Rinde.

⁂

Lichina. Thallus stielrund, solid. Rinde ein verworrenes Fasergeflecht, zuweilen von parenchymatischem Aussehen. Mark interstitienlos, mit orthogonal-trajectorischem Faserverlauf. — Mit Gonidienketten.

Erklärung der Tafeln.

Die Figuren wurden mit wenigen Ausnahmen, worunter die Mehrzahl der Gonidiengruppen, mittelst der Camera lucida oder dem Sömmering'schen Spiegelchen entworfen und sodann von freier Hand, nöthigenfalls bei stärkerer Vergrösserung, sorgfältig ausgeführt. Die Angabe der Vergrösserung wurde auf den Tafeln weggelassen; sie ist dafür in der Erklärung den Nummern der Figuren in () beigesetzt.

Taf. I.

Fig. 1—23. **Usnea barbata.**

1 (515) Querschnitt durch ein Thallusende, ganz nahe der Spitze. Die 6 grünen Zellen sind dicht zwischen die Fasern eingebettet.

2 (258) Ein ähnlicher Querschnitt, ebenfalls mit 6 paarweise zwischen den Fasern liegenden grünen Zellen. Die Lumina der quergeschnittenen Fasern sind hier dunkel gezeichnet, die Wandungen hell gelassen.

3 (515) Stück eines Querschnittes durch ein Thallusende von circa 100 Mik. Dicke. Die Rindenfasern verlaufen hier noch mit der Thallusaxe parallel, sind daher sämmtlich quergeschnitten; ihre Wandungen sind jedoch bereits stark verdickt. Der Medullarstrang besteht aus circa 70 Fasern.

4 (258) Querschnitt durch ein Thallusende, nicht weit unterhalb der Spitze. Der Raum zwischen Medullarstrang und Rinde wird vom lockeren Markgeflecht ausgefüllt, in welchem die Gonidien liegen.

5 (515) Längsschnitt durch die Mitte der Thallusspitze. Die Zeichnung wurde mit der Camera lucida entworfen und hierauf nach Zusatz von Kali ausgeführt. Die obersten Gonidien, 7 auf der rechten, 5 auf der linken Seite, waren luftdicht zwischen die Fasern eingebettet. Mark- und Rindenfasern schliessen sich über denselben zusammen.

6 (515) Ein Stück Rinde in der Nähe der Spitze, von der Fläche gesehen, nach Zusatz von Jodtinctur. Der longidutinale Verlauf der Rindenfasern tritt zwar noch deutlich hervor; ihre einzelnen Zellen sind indess bereits in lebhafter Verästlung begriffen.

7 (515) Drei Rindenfasern zunächst der Spitze, nach Zusatz von Jodtinctur. Die Verästlung der einzelnen Zellen hat noch nicht begonnen.

8 (c. 900) Zwei Rindenfasern, deren Zellen sich zu verästeln beginnen, in Jodlösung. Es wurde bloss der gefärbte Inhalt gezeichnet.

9 (515) Querschnitt durch die ältere Rinde, mit Jodtinctur behandelt. Die vielfach verästelten Rindenfasern bilden ein verworrenes Filzgewebe. Einzelne Fasern lassen sich vorzugsweise in radialer Richtung eine Strecke weit verfolgen.

10 (50) Querschnitt durch die Rinde eines dicken Stammes mit zahlreichen warzenförmigen Auswüchsen.

11 (370) Querschnitt durch die Rinde des nämlichen Stammes, mit Jodtinctur behandelt. Der peripherische Theil sticht von dem tieferliegenden, wo die Lebensthätigkeit in manchen Fasern bereits erloschen ist, auffallend ab und zeigt einen vorherrschend radialen Faserverlauf (zuweilen in noch höherem Grade, als es in der Zeichnung dargestellt ist).

11^b (c. 500) Einzelne Fasern des peripherischen Theils, zunächst der Oberfläche.

12 (515) Tangentialschnitt durch den peripherischen Theil der Rinde des nämlichen Stammes. Die meisten Fasern sind quergeschnitten.

13 (185) Querschnitt durch die Rinde und zwei papillenförmige Auswüchse derselben. In Kali.

14 (258) Querschnitt durch die Rinde eines circa 2 Millm. dicken Stammes, mit auffallend grossen Zellhöhlungen. Hie und da beobachtet man einzelne successive Zellen einer Faser, durch eine dünne Scheidewand von einander getrennt. Um die Contur des Zelllumens zieht sich constant ein heller Ring, welcher der innersten Schicht der Zellmembran entspricht.

15—16 (600) Zwei Gonidien mit ölartigen Tropfen im Inhalt, nach Zusatz von Salpetersäure und Jodtinctur. Der Inhalt hat sich stark zusammengezogen und die Tropfen springen halbkugelig nach aussen vor.

17 (700) Ein isolirtes Gonidium, durch eine zarte Scheidewand in zwei Zellen getheilt.

18 (700) Ein zweigetheiltes Gonidium, noch am Stiele befestigt. In *a* liegen die beiden Theilzellen neben einander, in *b* über einander.

19 (700) Ein isolirtes Gonidium, das sich in 4 tetraedrisch gestellte Zellen getheilt hat, in zwei verschiedenen Lagen. *a* Drei Zellen sind zugekehrt, die vierte ist abgekehrt. *b* Alle 4 Zellen sind wenigstens zum Theil sichtbar; die beiden rechts und links liegenden stossen in der Mitte der abgekehrten Fläche zusammen.

20 (700) Ein ähnliches Gonidium, mit Jodtinctur behandelt.

21 (700) Ein ähnliches Gonidium, mit halbkugelig nach aussen vorspringenden Theilzellen, wovon 3 zugekehrt, die 4. abgekehrt.

22 (700) Eine Gruppe von 8 Theilzellen in 4 verschiedenen Lagen, mit Jodtinctur behandelt. *a* Eine pentagonale Zelle, umgeben von 5 andern, ist genau zugekehrt; die zwei übrigen liegen auf der abgekehrten Seite. *b* Etwas gedreht, sodass sämmtliche 8 Zellen gleichzeitig gesehen werden. *c* Noch mehr gedreht. Unter jeder der 3 grössern, ein Dreieck bildenden Zellen liegt eine andere. *d* Eine Lage, in welcher man ebenfalls, wie in *b*, alle 8 Zellen gleichzeitig sieht.

23 (700) Eine ähnliche Gruppe in 3 verschiedenen Lagen. *a* und *b* zeigen die nämliche Anordnung, wie *a* und *c* in vorhergehender Figur. *c* Eine Lage, welche der in Fig. 19, *b* dargestellten entspricht. Andere Scheidewände waren hier, weil zu schief stehend, nicht sichtbar.

Taf. II.

Fig. 1—25. **Usnea barbata.**

1 (c. 600) Eine Gonidiengruppe von 8 Zellen in 3 verschiedenen Lagen, nach Zusatz von Jodtinctur. Die Stielzelle hat sich bereits zu verzweigen angefangen.

2 (c. 700) Eine ähnliche Gruppe mit weiter vorgeschrittener Verzweigung der Stielzelle. Die zwei Zellen rechts waren ursprünglich nach unten umgeschlagen und mit den 3 Zellen links in Berührung.

3 (c. 700) Eine Gruppe von Zellen, theilweise schon getrennt. Ein kleines Anhängsel in der Mitte bezeichnet die Anheftungsstelle des Stieles.

4 (c. 600) Eine Gruppe von 5 in einer Ebene liegenden Gonidien, wie man sie häufig beobachtet. Sie gehen aus 8- (oder mehr-) zelligen Gruppen durch theilweise Trennung der Theilzellen hervor.

5 (c. 500) Eine Gruppe von 6 sphärischen in einer Ebene liegenden Zellen, auf dieselbe Weise entstanden.

6 (c. 600) Ein Soredium bei mittlerer Einstellung. Die grüne Zelle wird von einer dichtfilzigen Faserhülle umschlossen.

7 (600) Ein Soredium, dessen grüne Zelle sich wieder getheilt hat.

8 (600) Eine Sorediengruppe, aus einem einfachen Soredium (Fig. 7) dadurch entstanden, dass die Verästlungen der umhüllenden Fasermasse zwischen die 8 Theilzellen eindrangen.

9 (800) Ein in 8 Zellen getheiltes Gonidium in zwei verschiedenen Lagen. In *a* erscheinen von den sichtbaren Scheidewänden 3 als gerade Linien, die unter ungefähr gleichen

Winkels von einem mittleren Puncte ausgehen (vgl. Taf. I. Fig. 19 *a*); die übrigen 3, sehr wahrscheinlich die später gebildeten, sind wegen der etwas schiefen Lage weniger deutlich und verlaufen von einem Puncte der erstern scheinbar bogenförmig gegen die Peripherie. In *b* ist eine pentagonale Zelle, umgeben von 5 anderen, zugekehrt.

10 (800) Ein ähnliches Gonidium in zwei entsprechenden Lagen *a* und *b*. In *a* sind ausser den 3 ältern Scheidewänden, welche in der Mitte der zugekehrten Seite zusammenstossen, bloss noch 2 andere sichtbar. Die dritte war entweder noch gar nicht gebildet oder hatte eine andere Lage, als in Fig. 9 *a*.

11 (700) Ein Gonidium, das sich ausnahmsweise bloss in 6 Zellen, 3 grössere und 3 kleinere getheilt hat, mit Jodtinctur behandelt.

12 (700) Ein Gonidium, das sich ausnahmsweise in viele Zellen getheilt hat, mit Jodtinctur behandelt.

13 (700) Ein Gonidium, das sich in 9 Zellen getheilt hat, etwas platt gedrückt. *a* von der Seite, *b* von der Fläche gesehen. In *b* sind 6 Zellen um eine centrale gelagert.

14 (700) Ein Gonidium, bei welchem die Theilung in 4 Zellen ausnahmsweise durch rechtwinkelig sich kreuzende Scheidewände erfolgte. *a* Seitenansicht, *b* Flächenansicht. Ein einziges Mal beobachtet.

15 Schematische Darstellung des normalen Verlaufes der Scheidewände auf der Oberfläche eines in 8 Zellen getheilten Gonidiums. Das gebildete Netz — auf der abgekehrten Seite durch punctirte Linien angedeutet — besteht aus 4 Fünfecken und 4 Vierecken; ein Fünfeck liegt auf der abgekehrten Seite, ein zweites in der Mitte der zugekehrten, die beiden übrigen symmetrisch rechts und links, etwas nach oben. Die Fünfecke bilden hier eine zusammenhängende Zone auf der Kugeloberfläche; zu beiden Seiten derselben (oben und unten) liegen paarweise beisammen die Vierecke.

16 (20) Längsschnitt durch einen dichotomisch verzweigten Thallus. An der Verzweigungsstelle findet nur eine sehr schwache, kaum bemerkliche Kreuzung der Markfasern statt. Auf der rechten Seite befindet sich ein junger Soredialast, der mit dem Medullarstrang des Stammes noch nicht in Verbindung steht.

17 (100) Längsschnitt durch den Thallus und einen jungen Adventivast. In letzterem haben sich bereits Gonidien gebildet.

18 (20) Längsschnitt durch den Thallus und den Basaltheil eines ältern Adventivastes. Der Markstrang des letztern hat sich mit dem des Stammes in Verbindung gesetzt. Eine Kreuzung der Fasern findet hier, weil der Verzweigungswinkel ein spitzer ist, in geringerem Grade statt, als bei horizontal abstehenden Aesten. — Auf der rechten Seite liegt ein ganz junger Soredialast zwischen den beiden Schnittflächen.

19 (40) Längsschnitt durch den Thallus und die Basis eines ältern Soredialastes. Der Medullarstrang des letztern hat sich in der angedeuteten Weise mit dem des Stammes in Verbindung gesetzt.

20 (40) Ein ähnlicher Längsschnitt durch die Basis eines etwas jüngern Soredialastes, dessen Medullarstrang denjenigen des Stammes noch nicht erreicht hat.

21 (15) Längsschnitt durch den Basaltheil des Stammes und die Unterlage. Der Medullarstrang theilt sich in eine grosse Zahl kleiner Faserbündel, welche sich auf der Unterlage (hier auf einer Borkenschuppe) ausbreiten und von denen eines auf der rechten Seite durch eine Schicht von Korkzellen in das darunter liegende Rindenparenchym eingedrungen ist.

22 (500) Einzelne Faserzellen aus dem Medullarstrang, mit Jod behandelt: *a* in der Nähe der Spitze, *bcd* nach stattgefundener Streckung in Folge des Längenwachsthums. In *c* sind die einander zugekehrten Enden der Zellen durch Copulation mit einer benachbarten Faser verbunden. In *d* trägt eine der Zellen ein Stück eines Astes.

23 (500) Ein Soredium, welches bereits einen deutlichen Scheitel gebildet hat.

24 (500) Ein etwas weiter entwickeltes Soredium mit zahlreichen Gonidien.

25 (30) Längsschnitt durch einen mehrfach verzweigten Thallus. Die eigentliche Spitze ist nach links gebogen und die scheinbar directe Fortsetzung des Thallus erweist sich

zufolge des Faserverlaufes als ein Adventivast, der sich nicht weit über der Basis in zwei Gabeläste theilt, von denen der eine in gleicher Höhe zwei Adventiväste trägt.

Taf. III.

Fig. 1 — 15. **Bryopogon jubatus** L.

1 (258) Querschnitt durch ein Thallusende, ganz nahe der Spitze.

2 (50) Querschnitt durch den ältern Thallus.

3 (700) Ein in 9 Zellen getheiltes Gonidium in 4 verschiedenen Lagen. In *a* und *b* sieht man die nämlichen 7 Zellen: in *c* wird die unterste der mittleren Reihe von der centralen in *a* bedeckt. *d* eine Lage, welche wahrscheinlich der auf Taf. II. Fig. 19 *b* dargestellten entspricht und nur die ältern Scheidewände deutlich zeigt.

4—6 (500) Gruppen von je 8 grünen Zellen, durch Theilung aus einem einzigen Gonidium entstanden. Die Theilzellen haben sich entweder von selbst oder in Folge äusserer Einwirkung in eine Ebene gelegt.

7 (700) Ein in 4 Zellen getheiltes Gonidium mit der Anheftungsstelle des Stieles.

8 (700) Ein in 4 Zellen getheiltes Gonidium, noch am Stiele befestigt, der hier ausnahmsweise zweizellig ist. Die Zellen links decken einander.

9 (700) Eine Gruppe von 5 grünen Zellen (die übrigen sind weggefallen), mit verästelter Stielzelle. (Mit Jodtinctur behandelt und wieder entfärbt).

10 (700) Eine ähnliche Gruppe von 8 Zellen. Die Verästlung der Stielzelle hat kaum begonnen.

11—12 (c. 700) Faserzellen aus der Rinde, durch Copulation mit einander verbunden, nach Zusatz von Jodtinctur. Es wurde bloss der gefärbte Inhalt gezeichnet.

13 (500) Zwei verästelte Fasern aus dem oberflächlichen (kurzzelligen) Theil der Rinde, mit Jodtinctur behandelt. Die Umrisse der Membran sind auch hier weggelassen.

14 (80) Längsschnitt durch eine Verzweigungsstelle. Auf der linken Seite geht der Schnitt bloss durch die Rindenschicht; man sieht die Gonidien durchschimmern. In der Achsel findet eine Kreuzung der Fasern statt.

15 (80) Längsschnitt durch die Rinde in der Achsel zweier Gabeläste. Der Verzweigungswinkel ist hier noch stumpfer als in Fig. 14, die Kreuzung der Fasern daher weniger bemerkbar.

Fig. 16 — 25. **Bryopogon ochroleucus** Ehrh.

16 (50) Querschnitt durch ein Thallusende, in der Nähe der Spitze.

17 (21) Querschnitt durch den ältern Thallus.

18 (600) Ein in 8 Zellen (wovon 7 sichtbar) getheiltes Gonidium, mit Jodtinctur behandelt. Die Verästlung der Stielzelle hat begonnen; man sieht zwei Faserenden zwischen der Zelle links und der centralen.

19 (600) Eine ähnliche Gruppe von 8 Zellen (wovon 7 sichtbar), mit etwas stärker verästelter Stielzelle, in zwei verschiedenen Lagen *a* und *b*. Die tiefer liegenden Zellen sind dunkler gezeichnet.

20 (515) Eine Gonidiengruppe von 16 Zellen, von zahlreichen, durch Verästlung der Stielzelle entstandenen Fasern durchflochten, mit Jodtinctur behandelt.

21 (600) Eine Gonidiengruppe von 6 Zellen (zwei sind weggefallen), mit verästelter Stielzelle, nach Zusatz von Jodtinctur.

22 (378) Längsschnitt durch die Rinde, mit Jodtinctur behandelt. Die gelben Körperchen sind in grössern oder kleinern Gruppen im Gewebe zerstreut.

23—24 (500) Zwei Faserstücke aus der ältern Rinde, von denen jedes einen Ast trägt. Die Enden der Zellen sind gabelig getheilt und bilden kleine geschlossene Figuren. In Fig. 23 ist das asttragende Ende des Gabelzweigs durch eine Scheidewand von der Mutterzelle getrennt.

25 (515) Querschnitt durch die Rinde. Die gelben Körperchen bilden auf dickern Schnitten ebenfalls grössere oder kleinere Anhäufungen; auf dünneren, wie der gezeichnete, umgeben sie stellenweise die einzelnen Fasern, deren Producte sie sind.

Fig. 26—28. **Bryopogon sarmentosus** Ach.

26 (2) Ein Stück des Thallus mit in der Mitte durchbrochener Verzweigungsstelle.

27—28 (500) Faserzellen aus der ältern Rinde, durch Copulation mit einander verbunden, nach Zusatz von Jodtinctur. Die Conturen der Membran wurden nicht gezeichnet.

Fig. 29. **Bryopogon luteolus** (Ceratoclada luteola Delise).

29 (2) Ein eigenthümlich verästeltes Thallusstück. Die beiden nach unten gekehrten Aeste sind durch einen kleineren quer verlaufenden dritten, der selbst wieder verästelt ist, mit einander verbunden.

Fig. 30—33. **Cornicularia tristis** Web.

30 (100) Querschnitt durch ein Thallusende, ganz nahe der Spitze, mit 2—3 im Centrum liegenden, dicht zwischen die Fasern eingebetteten Gonidien.

31 (150) Querschnitt durch ein anderes Thallusende. Die Gonidien erscheinen hier in 3 Puncten; sie sind ebenfalls dicht zwischen die Fasern eingebettet.

32 (100) Querschnitt durch ein anderes Thallusende, mit lockerfilzigem Markgewebe.

33 (100) Querschnitt durch den alten Thallus. Das lockere Markgewebe springt in zwei Puncten fast bis zur Oberfläche vor.

Taf. IV.

Fig. 1—6. **Parmelia fahlunensis γ tristis** Schaer.

1 (100) Querschnitt durch den strauchartigen Thallus. Die Gonidien liegen auf der Lichtseite, wie bei laubartigen Formen.

2 (100) Querschnitt durch einen stielrunden Thalluszweig, ebenfalls mit einseitiger Lagerung der Gonidien.

3 (60) Querschnitt durch einen andern stielrunden Thalluszweig. Das lockerfilzige Markgewebe zeigt sehr unregelmässige Conturen.

4 (515) Durchschnitt durch die obere Rinde eines laubartigen Lagers, nach Zusatz von Jodtinctur. Der ganz oberflächliche Theil ist ausgebleicht.

5 (60) Querschnitt durch ein strauchartiges Lager, dessen lockeres, gonidienführendes Markgeflecht an drei Stellen bis zur Oberfläche vorspringt.

6 (70) Querschnitt durch den laubartigen Thallus. Gonidien nur auf der obern Seite.

Fig. 7. **Cornicularia tristis** Web.

7 (370) Längsschnitt durch die Rinde, nach Zusatz von Jodtinctur.

Fig. 8—9. **Cetraria aculeata** Ehrh.

8 (30) Querschnitt durch den Thallus. Der innere, parallelfaserige Theil der Rindenschicht erscheint etwas dunkler, als der äussere.

9 (515) Längsschnitt durch die Rinde, mit Jodtinctur behandelt. In der innern Hälfte des peripherischen Theils sind die Zellhöhlungen auffallend erweitert.

Fig. 10—11. **Cetraria islandica** L.

10 (258) Querschnitt durch ein Thallusende, nicht weit von der Spitze.

11 (500) Ein Thallusende, das in eine farblose, ziemlich parallelfaserige Spitze ausläuft, nach Zusatz von Kalilösung.

Fig. 12. **Cetraria straminea** Krempelh.

12 (515) Querschnitt durch die obere Rinde. Der ganz oberflächliche Theil ist ausgebleicht und scheinbar structurlos. Unter demselben liegt ein kleinzelliges Gewebe mit eingebetteten gelben Körperchen, die auf dickeren Schnitten als ein gelbes Band erschei-

nen. Zunächst dem Marke endlich finden sich die grossen Zellen, welche in der ältern Rinde constant vorkommen.

Fig. 13—15. **Evernia vulpina** L.

13 (30) Querschnitt durch einen Thallus mit mehreren soliden Marksträngen.

14 (370) Längsschnitt durch die Rinde und einen damit verschmolzenen Markstrang. Der Markstrang ist parallelfaserig, die Rinde ein verworrenes Filzgewebe.

15 (30) Querschnitt durch einen Thallus mit einem einzigen soliden Markstrang.

Fig. 16—17. **Evernia flavicans** Sw.

16—17 (50) Querschnitte durch den ältern Thallus.

Taf. V.

Fig. 1. **Evernia vulpina** L.

1 (370) Längsschnitt durch die Thallusspitze, in Kalilösung erhitzt. Der Schnitt geht nicht genau durch die Mitte, daher sieht man den Scheiteltheil von aussen.

Fig. 2—5. **Evernia furfuracea** L.

2 (500) Durchschnitt durch die untere Rinde.

3 (180) Durchschnitt durch zwei Prolificationen der obern Rinde. Die Fasern verlaufen senkrecht gegen die Oberfläche.

4 (80) Durchschnitt durch den Thallusrand. Gonidien nur auf der obern Seite

5 (300) Scheiteltheil der vorhergehenden Figur, stärker vergrössert.

Fig. 6. **Evernia divaricata** L.

6 (600) Gonidiengruppe mit verästeltem Stiel, mit Jodtinctur behandelt. Die nämliche Faser trägt ausserdem ein ungetheiltes Gonidium mit einzelligem Stiel.

Fig. 7—8. **Ramalina farinacea** L.

7 (36) Querschnitt durch den Thallus. Die soliden Markstränge sind mit der Rinde verschmolzen.

8 (100) Längsschnitt durch die Rinde und einen damit verschmolzenen Markstrang.

Fig. 9—11. **Ramalina calicaris** L.

9 (70) Querschnitt durch den Thallus in der Nähe der Spitze. Das Mark ist durchgehends lockerfilzig.

10 (100) Längsschnitt durch die Thallusspitze, senkrecht zum grössern Querdurchmesser geführt.

11 (515) Längsschnitt durch die Rinde, nach Zusatz von Jodtinctur.

Fig. 12—13. **Hagenia ciliaris** L.

12 (50) Querschnitt durch den Thallus.

13 (150) Längsschnitt durch die Thallusspitze, parallel mit der Oberfläche geführt. Der Schnitt geht durch die dichtfilzige Rindenschicht und streift in der Mitte das gonidienführende Markgewebe.

Fig. 14. **Sphaerophorus fragilis** L.

14 (300) Längsschnitt durch die jüngere Rinde und den peripherischen Theil des Markes, mit Jodtinctur behandelt.

Fig. 15—16. **Sphaerophorus coralloides** Pers.

15 (260) Tangentialschnitt durch die ältere Rinde, nach Zusatz von Jodtinctur. Die meisten Fasern sind quer geschnitten, nur wenige verlaufen in der Ebene des Schnittes.

16 (180) Längsschnitt (Radialschnitt) durch die Rinde eines circa 1 Millm. dicken Stammes, die Verzweigung der Rindenfasern darstellend, nach Zusatz von Jodtinctur. Kleinere

Faserstücke sind in der Zeichnung weggelassen. Wo eine Kreuzung der Fasern stattfindet, liegt selbstverständlich die eine höher, die andere tiefer.

Taf. VI.

Fig. 1. **Sphaerophorus fragilis** L.

1 (40) Längsschnitt durch ein pseudodichotomisch verzweigtes Thallusende.

Fig. 2—17. **Roccella tinctoria** DC.

2 (370) Längsschnitt durch die Mitte der Thallusspitze.

3—5 (500) Einzelne verästelte Rindenfasern, durch Zerdrücken der Rinde isolirt, in Fig. 3 und 5 mit Gonidien. In Fig. 4 sind zwei neben einander liegende Faseräste durch Copulation mit einander verbunden.

6 (500) Eine verästelte Rindenfaser nach Zusatz von Jodtinctur.

7—9 (600) Einzelne noch am Stiele befestigte Gonidien, mit Jodtinctur behandelt. In Fig. 8 ist der Stiel einzellig; gewöhnlich wird er, wie in Fig. 7 und 9, von einer Ausstülpung der Faserzelle gebildet.

10—16 (600) Einzelne Gonidien, die sich durch Ausstülpung vermehrt haben. Die Tochterzellen bilden mit der Mutterzelle verschieden gestaltete Gruppen.

17 (30) Längsschnitt durch ein Thallusende.

Fig. 18—20. **Cladonia furcata.**

18 (50) Querschnitt durch das Podetium und eine allseitig umrindete Prolification. Das Gewebe im Innern dieser letztern ist lockerfilzig.

19 (30) Querschnitt durch das Podetium und ein vertical stehendes Schüppchen. Letzteres ist durch Ablösung der Rinde entstanden.

20 (30) Querschnitt durch eine auf beiden Seiten berindete Prolification und den entsprechenden Theil des Podetiums.

Fig. 21. 22. **Thamnolia vermicularis** Ach.

21 (170) Längsschnitt durch die Thallusspitze. Die Rindenfasern verlaufen vorherrschend senkrecht zur Oberfläche.

22 (50) Längsschnitt durch ein Thallusende.

Fig. 23—26. **Cladonia stellata uncialis** Sch.

23 (80) Querschnitt durch das Podetium, nicht weit von der Spitze. Das Gewebe ist durch und durch dicht und gonidienlos.

24 (100) Ein ähnlicher Querschnitt mit 3 kleinen Gonidiengruppen, welche in ein lockerfilziges peripherisches Fasergeflecht eingebettet sind.

25 (180) Längsschnitt durch die Spitze eines Podetiums. Auf der rechten Seite bemerkt man kleine Gonidiengruppen im peripherischen Fasergeflecht.

26 (300) Längsschnitt durch die Rinde und das Mark, mit Jodtinctur behandelt.

Fig. 27. **Cladonia gracilis** L. **var. chordalis.**

27 (50) Querschnitt durch das Podetium. Der Schnitt geht durch drei Rindenschüppchen, unter welchen die Gonidien liegen.

Taf. VII.

Fig. 1. **Cladonia turgida** Ehrh.

1 (50) Längsschnitt durch die Spitze des Podetiums. Der Scheiteltheil ist rindenlos und ohne Gonidien.

Fig. 2—5. **Cladonia squamosa** Hoffm.

2 (80) Durchschnitt durch ein horizontal abstehendes Blättchen und den entsprechenden Theil des Podetiums.

3 (180) Durchschnitt durch ein junges Rindenschüppchen, das dem peripherischen Fasergeflecht aufsitzt. Unter demselben liegen zahlreiche Gonidien.

4 (80) Durchschnitt durch die Spitze des Podetiums, mit zahlreichen Rindenschüppchen.

5 (50) Durchschnitt durch zwei Rindenschüppchen und den entsprechenden Theil des Podetiums. Die Schüppchen beginnen sich aufzurichten.

Fig. 6. **Cladonia furcata.**

6 (25) Durchschnitt durch den Protothallus (Thallus) und den Basaltheil des Podetiums. Letzteres steht mit der Unterlage in unmittelbarer Verbindung.

Fig. 7 — 8. **Cladonia pyxidata** L.

7 (30) Längsschnitt durch das Becherchen.

8 (100) Eines der beiden Hörner des vorhergehenden Längsschnittes stärker vergrössert.

Fig. 9. **Cladonia rangiferina** L.

9 (270) Stück eines Querschnittes durch das Podetium. Die Gonidien sind in das peripherische Fasergeflecht eingebettet.

Fig. 10 — 11. **Stereocaulon tomentosum** Fr.

10 (60) Längsschnitt durch den Thallus und einen jungen Adventivast. Die Markfasern des Astes kreuzen sich mit denen des Stammes.

11 (50) Längsschnitt durch den Thallus und einen etwas weiter entwickelten Adventivast.

Fig. 12 — 14. **Lichina pygmaea.**

12 (100) Längsschnitt durch ein Thallusende. Die Markfasern verlaufen bogenförmig nach aussen. Einzelne Gonidienketten kommen auch im mittlern Theile des Markes vor.

13 (500) Isolirte Gonidienketten in verschiedenen Stadien der Entwickelung. *a*, *b* einfache Ketten; *f* Kette mit einer längs getheilten Gliederzelle; *c*, *d*, *e* Gonidienketten, bei welchen einzelne Glieder durch Längswände in 2—3 Zellen getheilt erscheinen.

14 (250) Längsschnitt durch die Rinde und einen Theil des Markes.

15 Schematische Darstellung des orthogonal-trajectorischen Faserverlaufes. Die Curven haben die Eigenschaft, dass sie einen Halbkreis *zax*, welcher in der angedeuteten Weise allmälig vorrückt, bis der Punct *a* mit dem Punct *q* zusammenfällt, in jeder beliebigen Lage rechtwinkelig schneiden.

Ueber das angebliche Vorkommen von gelöster oder formloser Stärke bei Ornithogalum.

Im Jahre 1857 (Bot. Zeit. pag. 420) machte Sanio bekannt, er habe in den Epidermiszellen von Gagea Stärke als Lösung gefunden. Denn in dem homogenen Inhalte bewirkte Jodlösung einen fein flockigen sich blau färbenden Niederschlag, dessen Ton vom reinsten Blau bis zu Violett schwankte. Gagea pratensis zeigte diese Erscheinung nicht, wohl aber einmal Ficaria ranunculoides.

Schenk, durch diese Mittheilung veranlasst, gab eine Notiz über seine im Jahre 1851 in gleicher Richtung gemachten Beobachtungen (Bot. Zeit. 1857, pag. 497). Er hatte das Vorkommen von Stärkelösung in den Epidermiszellen des Stengels, der Blätter, Bracteen, Perigonblätter und des Fruchtknotens von Ornithogalum nutans constatirt. Jodtinctur färbte den dickflüssigen, homogenen Inhalt zuerst weinroth, dann violett, endlich schön indigoblau, wobei derselbe feinkörnig und flockig wurde. Später beobachtete er die gleiche Erscheinung an O. longebracteatum, nicht aber an einigen andern Arten.

Im gleichen Jahr (Bot. Zeit. 1857, pag. 555) gab Schenk eine theilweise Berichtigung. Er sah eine blaue und violette Färbung auch bei mehreren andern Ornithogalumarten nach längerer Dauer der Einwirkung eintreten, hielt aber die gefärbte Substanz nicht mehr für Stärke, sondern für einen derselben zunächst verwandten Körper der Stärkereihe. Den Grund hiefür fand er in dem Umstand, dass die blaue Färbung durch Wasser vollständig entfärbt werde. Die Jodverbindung der Stärke soll nach Schenk in Wasser ihre Farbe nicht verlieren, wie er sich neuerdings durch eine Reihe von Versuchen überzeugt habe. — Diess ist unrichtig. Jede Form von Stärke (Körner, Kleister und die sogenannte Lösung) wird durch Wasser vollständig entfärbt. Da aber die Stärke viel Jod einzulagern vermag, so dauert es oft sehr lange, bis die Wirkung erreicht ist. Für schwarzblaue Stärkekörner braucht es Tage, für hellblaue nur ½ bis 1½ Stunden. Uebrigens hängt es nicht bloss von der Menge des eingelagerten Jod, sondern auch von der Menge des Wassers, die man anwendet, und von der Grösse der freien Wasseroberfläche ab. Wie es scheint, geht das Jod fast ausschliesslich durch Verdunstung verloren. Das Wasser vermag der Jodstärke eine äusserst geringe Menge von Jod zu entziehen, nicht aber dieselbe gegenüber der Verdunstung festzuhalten; und so wird nach und nach der ganze Jodgehalt ausgezogen. Der Umstand, dass der blau oder violett gewordene Inhalt der Epidermiszellen durch Wasser wieder entfärbt wurde, konnte also nicht beweisen, dass nicht Stärke sondern ein anderer verwandter Stoff der Stärkereihe vorhanden sei.

Im Jahre 1858 bestätigte Trécul die Anwesenheit von amorphem Amylum in den Epidermiszellen der Frucht von Ornithogalum pyrenaicum vor der vollständigen Reife (Bulletin de la société botanique de France 1858, p. 711).

Von diesen Thatsachen hatte ich während des Druckes meines Werkes über die Stärkekörner noch keine Kenntniss. Ich habe dort angegeben, dass der durch Jod und Wasser sich bläuende Stoff, den ich Granulose nannte, nur in den Stärkekörnern und in den Zellmembranen vorkomme, und zwar an beiden Orten gemischt mit Cellulose. Eine Ausnahme schienen jedoch mehrere Samen zu machen, welche in Wasser zerdrückt einen löslichen oder äusserst fein zertheilbaren Stoff an dasselbe abgaben, der mit Jod eine blaue, violette oder rothe Flüssigkeit lieferte. Andere Angaben über sogenannte formlose Stärke hatten sich als unrichtig oder im höchsten Grade zweifelhaft erwiesen.

Die Mittheilungen von Schenk und Sanio veranlassten mich um so eher zu einer Wiederholung ihrer Beobachtungen, weil ich auch über die Frage, ob die Stärke als solche löslich oder nur im äussersten Grade vertheilbar sei, nicht zu einem sichern Abschluss hatte kommen können. Zur Untersuchung standen mir nur Ornithogalum umbellatum Lin., O. comosum Lin. und O. sulphureum Röm. et Schult. zu Gebot. Davon zeigte sich bloss die erste Art geeignet; die zweite gab mit Jod keine blaue oder violette Färbung; die dritte zeigte zwar diese Reaction, aber höchst unbeständig und unsicher.

Es wurden daher für die Untersuchung fast ausschliesslich die Epidermiszellen der jungen noch grünen Samenkapseln von O. umbellatum benutzt. Dieselben enthalten einen zarten Zellenkern, einen körnigen dunkeln Ballen von rundlicher oder ovaler Form und eine geringe Menge von Protoplasma, welches vorzüglich als Fäden in dem Zellenlumen vertheilt ist. Der übrige Inhalt ist homogen oder zart- und feinkörnig. In den grossen Spaltöffnungszellen befinden sich Amylumkörner und etwas Protoplasma. Die Beobachtung gab folgende Resultate.

1. Wässerige Jodlösung und Jod in Jodkalium färben den flüssigen Zelleninhalt blau-violett oder schmutzig-blau. Jodtinctur bringt diese Wirkung nicht hervor. Ein Präparat, das mit Jodtinctur behandelt worden, erhält auch durch Jodkaliumjod jene Färbung nicht mehr. Ein Präparat, das ganz kurze Zeit in Alcohol gelegen hat, und unmittelbar oder erst nach dem Auswaschen in wässerige Jodlösung oder in Jodkaliumjod gebracht wird, färbt sich ebenfalls nicht blau oder violett. — Daraus scheint hervorzugehen, dass Weingeist die Substanz verändert. Indessen stimmen mit meinen Beobachtungen weder diejenigen von Sanio noch von Schenk überein. Ersterer sah die Epidermiszellen schön violett

werden, nachdem er sie mit Alcohol, dann mit Chlorzinkjod behandelt hatte; letzterer brachte die Färbung durch Jodtinctur hervor.

2. Die Fähigkeit, sich mit Jod blau oder violett zu färben, geht für die Epidermiszellen auch verloren, wenn dieselben bis zur Siedhitze oder zu einer Temperatur, welche die Stärkekörner der Spaltöffnungszellen in Kleister verwandelt, erwärmt werden.

3. Den gleichen Effect wie Weingeist und erhöhte Temperatur hat auch die Salpetersäure, und zwar schon in einer Verdünnung, welche die Stärkekörner in den Spaltöffnungszellen noch nicht zu Kleister aufquellen macht. Wenn die Einwirkung der genannten Mittel schwächer ist, so sieht man oft noch sehr schwache Andeutungen von violetter Färbung.

4. An einem Stück abgelöster Epidermis werden immer die unverletzten Zellen blau oder violett gefärbt. Alle diejenigen aber, welche verletzt oder entzweigeschnitten wurden, bleiben farblos, man mag das Präparat zuvor in Wasser legen oder unmittelbar mit verdünnter wässeriger oder Jodkaliumjodlösung übergiessen. Man könnte diese Thatsache so erklären wollen, es werde der gelöste Stoff von Wasser ausgezogen oder schon beim Zerschneiden entleert. Allein es ist nicht anzunehmen, dass alle Zellflüssigkeit aus Zellen entleert werde, die nur in geringem Maasse verletzt sind. Jodlösung kann die Substanz auch nicht ausziehen, da sie mit ihr eine unlösliche Verbindung bildet. Da nun auch bei unmittelbarer Anwendung von Jodlösung nie irgend eine Färbung in den verletzten Zellen beobachtet wurde, so mag es wahrscheinlich sein, dass die Fähigkeit, auf Jod zu reagiren, schon durch das Zerschneiden der Zellen verloren gehe, wobei entweder das Absterben des Inhaltes, oder die Einwirkung des Sauerstoffs der Luft maassgebend sein könnte.

5. Unverletzte Epidermiszellen, die längere Zeit in Wasser gelegen haben, färben sich nicht mehr blau oder violett.

6. Unverletzte Epidermiszellen, welche man eintrocknen lässt, verlieren ebenfalls die Fähigkeit, auf Jod zu reagiren. Blau-violett gefärbte Präparate bleiben beim Eintrocknen schön roth-violett. Entzieht man ihnen durch Wasser das Jod und damit auch die Farbe, und setzt dann wieder Jodkaliumjodlösung zu, so nimmt der Zelleninhalt eine braune Farbe an, ohne eine Spur von violett oder blau. — Nach Schenk nehmen Schnitte, welche durch Wasser entfärbt wurden, beim Eintrocknen wieder die Färbung an; aber sie werden schmutzig violett oder weniger intensiv blau.

7. Ob die in der Zellflüssigkeit enthaltene Substanz, welche durch Jod eine blauviolette Färbung annimmt, gelöst oder bloss fein vertheilt enthalten sei, kann ich nicht entscheiden. Schenk und Sanio halten es für eine Lösung, weil der Zelleninhalt homogen erscheine. Das reicht aber bei organischen Substanzen nicht aus. Ernsthafte Bedenken gegen diese Annahme scheinen mir in dem Umstande zu liegen, dass die blauviolette Färbung, welche Jod hervorbringt, sehr oft nicht das ganze Zellenlumen erfüllt, indem ein Theil farblos bleibt. Eine Lösung sollte doch in der ganzen Höhlung gleichmässig vertheilt sein, und also

auch eine gleichmässige Färbung veranlassen. — Die Jodverbindung dagegen ist, wie die beiden genannten Forscher es angegeben haben, bestimmt unlöslich. Zwar ist dieselbe durchaus nicht immer flockig und feinkörnig, sondern sehr oft durchaus homogen, sodass man sie auf den ersten Blick für eine vollkommene Lösung halten möchte. Dass es aber wirklich ein nicht gelöster Zustand sei, ergibt sich ganz sicher aus verschiedenen Thatsachen. Zellen, welche nur auf einer Seite gefärbt sind, bleiben Stunden lang in diesem halbgefärbten Zustand, es findet also keine Diffusion statt. Wenn man gefärbte Zellen durchschneidet, so tritt die blauviolette, homogene Substanz wolkenartig heraus, ohne sich im Wasser zu vertheilen. Lässt man mit Jod behandelte Zellen einige Zeit stehen, so wird die anfänglich homogene Färbung ungleich und zuletzt deutlich körnig, indem die blauviolette Substanz sich in Flocken und zum Theil in Körner zusammenballt oder auch auf schon vorhandene Körner sich niederschlägt, sodass nun deutlich die Flüssigkeit in den Zellen farblos und bloss der flockige Niederschlag gefärbt erscheint.

8. Was die Verwandtschaft zu Jod betrifft, so verhält sich die fragliche Substanz im Vergleich mit Stärke und mit Protoplasma folgendermaassen. Jodtinctur, Jodlösung in Jodkalium und solche in Wasser färben zuerst die Stärkekörner in den Spaltöffnungszellen violett, schmutzig-blau oder indigoblau. Etwas später wird das Protoplasma der nämlichen Zellen braungelb und gleichzeitig werden auch der Zellenkern, der körnige Schleimballen und das übrige Protoplasma in den Epidermiszellen gefärbt. Erst einige Zeit nachher bringt die wässerige und Jodkaliumjodlösung die violette Reaction in der Zellflüssigkeit hervor. Also hat die Stärke eine grössere Verwandtschaft zu Jod als Protoplasma, Protoplasma eine grössere als die fragliche Substanz. — Die Jodverbindung bleibt unverändert, wenn das Jod nicht ausgezogen wird. Das ist der Fall, wenn das Präparat eintrocknet, ebenso, wenn es in Zuckerlösung liegt. Epidermiszellen, in denen der Primordialschlauch durch Zucker contrahirt und durch Jodkaliumjod violett gefärbt war, zeigten sich nach 8 Tagen beinahe unverändert; nur war der Zelleninhalt meist etwas flockig und die Färbung an verschiedenen Stellen ungleich intensiv geworden. Die Membranen vieler Zellen hatten durch die Einwirkung des Jodkaliumjod ebenfalls einen violetten Ton angenommen; dieselben waren aber schmutzig blauviolett, der Inhalt mehr rothviolett. — Wenn Wasser das Jod auszieht, so halten die verschiedenen Substanzen dasselbe mit ungleicher Kraft zurück. Zuerst wird der violette Inhalt, dann das Protoplasma entfärbt; die Stärkekörner in den Spaltöffnungszellen behalten am längsten ihre Farbe. Sie sind, nachdem alles Uebrige farblos geworden, blauviolett, dann werden sie violett, und zeigen zuletzt noch einen blassen rothvioletten Ton.

Diesen Beobachtungen an Ornithogalum füge ich einige verwandte an Zygnema und Spirogyra bei.

9. Bei Zygnema stellinum Ag. färbt Jodkaliumjodlösung den Inhalt des Kerns oft rosenroth oder rothviolett, während der Zelleninhalt nicht oder nur blass tingirt erscheint. In einzelnen Fäden oder in einzelnen Zellen mancher

Fäden nimmt der Inhalt eine Farbe an, die sich von derjenigen des Kerns in Intensität und Nüance nicht unterscheidet. Nur selten ist der Ton im Kern und im Inhalt blauviolett. Wie bei Ornithogalum, reagirt gewöhnlich die ganze Flüssigkeit im Zellenlumen; zuweilen indessen zeigt sich die Färbung nur an dem einen Zellenende und verliert sich von da aus allmälig, weil hier die Jodlösung eingedrungen ist, aber sich nicht durch das ganze Lumen verbreitet hat. Nur lebenskräftige Zellen zeigen die Reaction; an abgestorbenen oder krankhaft veränderten Gliedern des gleichen Fadens bemerkt man keine Spur davon. — Was die Reihenfolge der Jodreaction betrifft, so sind es zuerst die Stärkekörner einer Zelle, welche blau werden. Dann wird die Flüssigkeit des Kerns oder der Zelle weinroth oder violett; indess das Protoplasma (auch die Wandung des Kerns) noch farblos ist. Erst etwas später tritt hier die braungelbe Färbung ein.

10. Eine neue Art von Spirogyra *) zeigte folgende Erscheinungen. Jodkaliumjodlösung färbt die Zellflüssigkeit violett, rothviolett, weinroth, kupferroth, braunroth bis goldgelb; der Farbenton wechselt in den verschiedenen Fäden. Wenn man die Zellen, nachdem sie gefärbt wurden, entzwei schneidet (durch Wiegen mit dem Rasiermesser auf dem Nagel), so behalten sie die Farbe, die Jodverbindung ist also in Wasser unlöslich. Werden die unveränderten Fäden zerschnitten, und dann erst mit Jodkaliumjod gefärbt, so bleibt die Reaction in allen verletzten Gliedern aus; was beweist, dass die fragliche Substanz durch den Schnitt verändert, entleert oder von Wasser ausgezogen wird. — Jodtinctur bringt die gleiche Färbung hervor wie Jodkaliumjodlösung. Die letztere erzeugt an Fäden, die mit Weingeist behandelt waren, die gleiche Wirkung, wie an frischen Pflanzen. — Die Behandlung mit Säuren und mit Siedhitze gibt hier kein sicheres Resultat, weil die zahlreichen Stärkekörner sich in Kleister verwandeln und das ganze Lumen ausfüllen.

11. Bei Spirogyra orthospira Näg. wird die Zellflüssigkeit mancher Fäden durch Jodtinctur schön rosenroth bis violett. Wenn der Primordialschlauch sich von der Membran ablöst und contrahirt, so bleibt der Raum zwischen beiden farblos. Wässerige Jodlösung färbt den Inhalt mancher Fäden violett bis fast indigoblau, meistens blauviolett, je nach der Einwirkung blass oder intensiv. — Zuerst sind es immer die Stärkekörner, welche die Reaction auf Jod zeigen. Wenn sie ziemlich intensiv blau, aber noch nicht dunkelblau geworden, so beginnt die Färbung der Zellflüssigkeit. Erst etwas später folgt diejenige des Protoplasma. — Fäden, welche mit Essigsäure oder mit Alcohol behandelt, dann nach Auswaschen mit Wasser oder sogleich, mit wässeriger oder weingeistiger

---

*) Sp. cryptoptycha zeichnet sich dadurch aus, dass ihre Scheidewände nur selten und ganz schwache Einfaltungen zeigen, gewöhnlich aber bloss etwas uneben sind, während dieselben überall, wo die Zellen sich von einander trennen, auf die nämliche Weise, wie bei den gefalteten Spirogyren, sich ausstülpen. Die Fäden sind $^{1}/_{133}$ — $^{1}/_{90}$''' (17 — 25 Mik.) dick, die sterilen Glieder 5 — 14, die fertilen, etwas angeschwollenen Glieder 2 — 4mal so lang als breit. Die elliptisch-ovalen Samen haben eine dicke braune Samenhaut, meistens eine Länge von $^{1}/_{41}$ — $^{1}/_{38}$''' (55 – 60 Mik.), und sind 1 $^{1}/_{2}$ bis wohl doppelt so lang als breit.

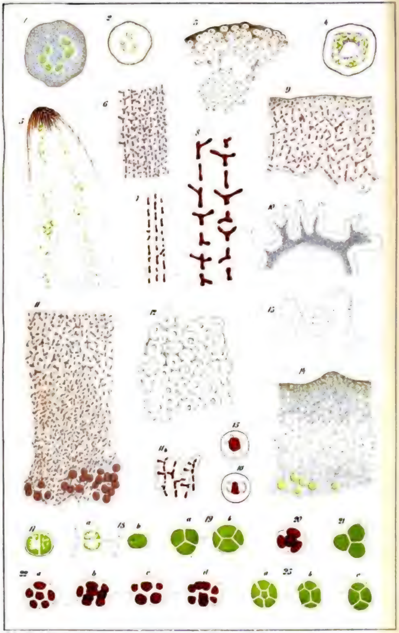
Jodlösung übergossen worden waren, zeigten bei wiederholten Versuchen keine blauen, violetten und rothen, sondern braungelbe, braune und höchstens röthlichbraune oder schmutzig violettbraune Färbungen. In gleicher Weise verhielten sich getrocknete Fäden. Doch kann ich auf diese Beobachtungen keinen allzugrossen Werth legen, da bei Behandlung der unveränderten Fäden mit Jod die characteristische Reaction immer nur an einem Theil derselben und zuweilen auch an ganzen Präparaten gar nicht eingetreten war.

Aus vorstehenden Thatsachen ergibt sich, dass in verschiedenen Pflanzen ein Stoff vorkommt, welcher durch Jod blaue, violette und rothe Färbungen annimmt, und dass dieser Stoff in der Zellflüssigkeit sich befindet entweder in gelöstem oder sehr fein vertheiltem Zustande, während die Jodverbindung sicher unlöslich ist. Sein Vorkommen zeigt eine sehr geringe Constanz; die einen Epidermiszellen und Algenfäden enthalten ihn, andere daneben liegende nicht; in den einen Zygnemafäden wird die Zellflüssigkeit und der Kern, in andern nur der Kern, in andern endlich gar nichts gefärbt. Auch der Farbenton variirt zwischen ziemlich weiten Grenzen (von schmutzig-roth bis zu schön violett und blau). Die Fähigkeit, mit Jod eine gefärbte Verbindung einzugehen, ist nicht immer dieselbe; sie wird oft durch sehr schwache Einwirkungen (Alcohol, Säuren, Hitze, Eintrocknen, Wasser) vernichtet, während sie in andern Fällen eine grössere Beständigkeit zeigt.

Dass die in Frage stehende Substanz Stärke oder ein anderer der Stärkereihe angehöriger Stoff sei, halte ich wegen der mitgetheilten Thatsachen für unmöglich. Die Kohlenhydrate sind alle viel beständiger. Was für eine Verbindung es sein könnte, bleibt vorerst der Vermuthung anheim gestellt. Ich spreche frageweise den Gedanken aus, ob sie nicht zu den eiweissartigen Stoffen gehören möchte? Mit denselben hat sie wenigstens die leichte Veränderlichkeit (durch Wärme, Alcohol, Mineralsäuren etc.) gemein. — Ob das verschiedene Verhalten durch Anwesenheit fremder Substanzen bedingt werde, oder ob es auf das Vorhandensein zweier Modificationen derselben Verbindung hindeute, bleibt ebenfalls zweifelhaft. Bemerkenswerth ist, dass diejenige Modification, welche ihre Fähigkeit auf Jod zu reagiren leicht verliert, zu Jod eine geringere Verwandtschaft besitzt und sich desswegen später färbt als Protoplasma; dass dagegen die beständigere Modification eine grössere Affinität zeigt und dem Wasser das Jod schneller entzieht.

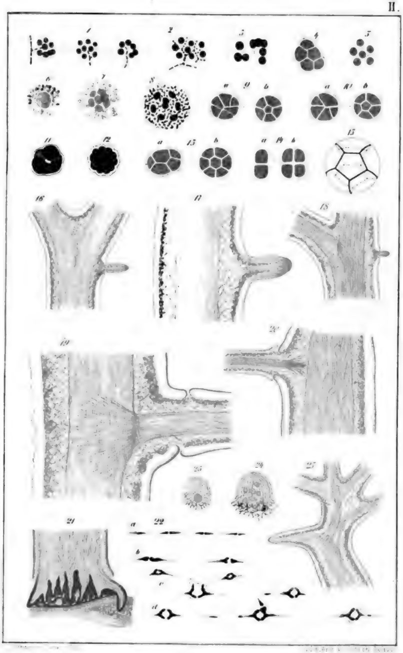
Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

I.


a
b
a
b
a
b
c
d
a
b
c

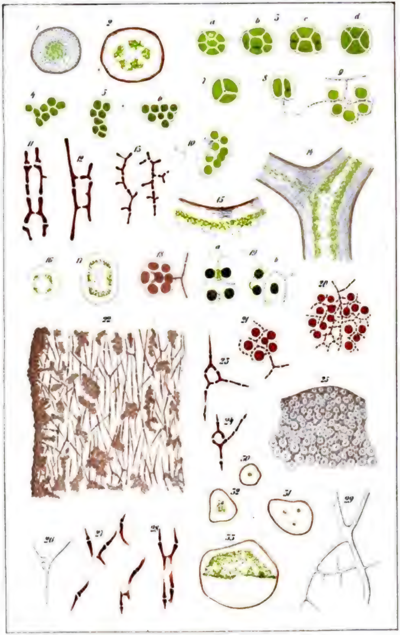
Usnea

II.

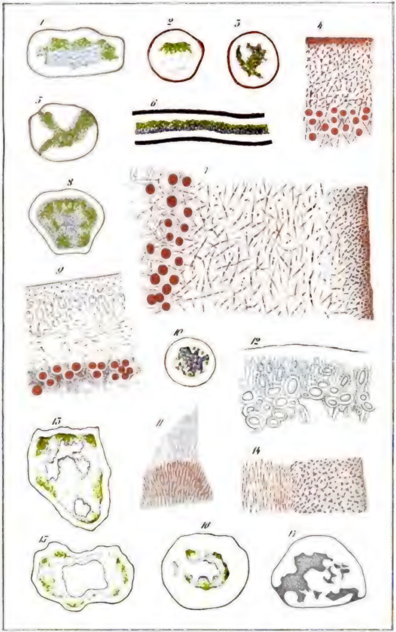

a
b
a
b
a
b
a
b
a
b
c
d

Usnea

III.

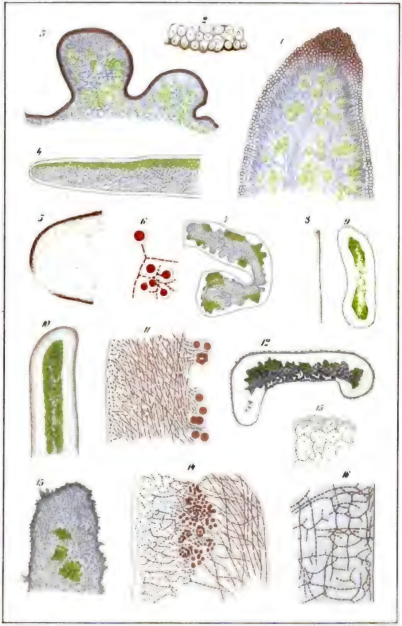

1
2
3
a
b
c
d
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
a
b
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

1–29 Bryopogon. 30–33 Cornicularia.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17

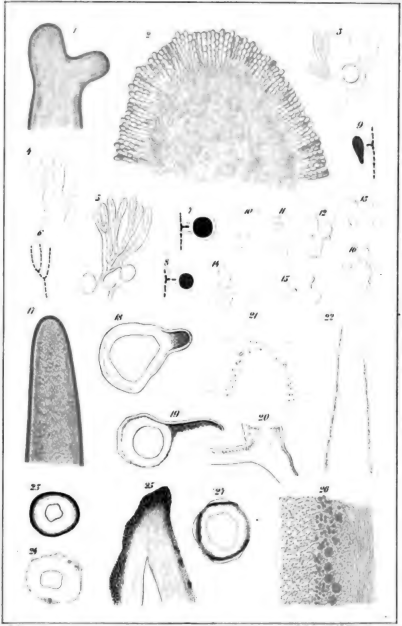
1–7 Cornicularia. 8–12 Cetraria. 13–17 Evernia.

V.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

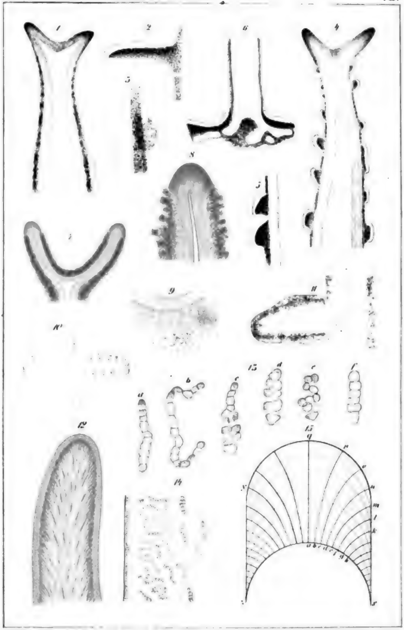
[illegible] [illegible]

1-6 Evernia 7-11 Ramalina 12-13 Hagenia 14-16 Sphaerophorus


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
21
22
19
20
23
24
25
27
26

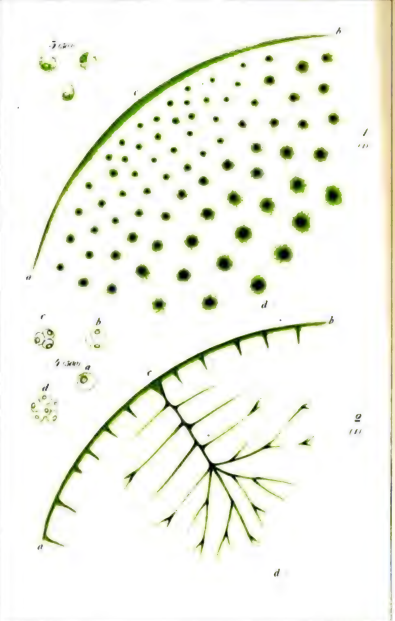
1 Sphaerophorus. 2 17 Roccella. 18 20, 23 26. Cladonia. 21 22 Thamnolia.

VII.


1
2
3
6
4
8
5
7
9
11
10
13
a
b
c
d
e
f
12
14
15
q
r
o
n
m
l
k
s
a b c d e f g h

1–9 Cladonia. 10. 11. Stereocaulon. 12–14 Lichina.

VIII.


5 (500)
b
c
f
a
d
c
b
4 (500)
a
d
b
c
g
a
d

Beiträge
zur
Wissenschaftlichen Botanik

von

Carl Nägeli,
Prof. in München.

Drittes Heft.

Die Anwendung des Polarisationsmicroscops auf die Untersuchung der organischen Elementartheile. Mit Taf. I—VII. — Untersuchungen über den Flechtenthallus von Dr. S. Schwendener. II. Laub- und Gallertflechten. Mit Taf. VIII—XI.

Mit 11 lithographirten Tafeln.

Leipzig,
Verlag von Wilhelm Engelmann
1863.

INHALT.

Die Anwendung des Polarisationsmicroscops auf die Untersuchung der organischen Elementartheile.

Pag.
Theoretischer Theil 1
I. Einleitung 3
  a. Reflexion und Brechung . . . . . . —
  b. Undulationstheorie 5
  c. Polarisation 8
  d. Wellenbewegung in den isotropen und einaxigen Medien 10
  e. Wellenbewegung in den zweiaxigen Medien 13
  f. Depolarisation 15
II. Uebertragung eines linearpolarisirten Strahls auf die zwei Schwingungsebenen eines einzelnen und zweier übereinander liegender anisotroper crystallähnlicher Körper 16
  a. Bestimmung der beiden Componenten, welche in dem ersten Körper schwingen . 17
  b. Uebertragung der Componenten des ersten Körpers auf den zweiten und Interferenz der zusammenfallenden Strahlen 18
  c. Bestimmung der beiden aus der Interferenz resultirenden Componenten, welche im zweiten Körper schwingen 23
III. Polarisationsmicroscop 27
IV. Ein einzelner anisotroper crystallähnlicher Körper, mit homogenem Lichte beobachtet 29
  a. Veränderung der Lichtintensität, wenn der Körper um seine verticale Axe gedreht wird 31
  b. Veränderung der Lichtintensität bei verschiedener Dicke des Körpers oder in einem Keil 33
V. Zwei übereinander liegende anisotrope crystallähnliche Körper, mit homogenem Lichte beobachtet 36
  a. Bestimmung der Lichtintensität, welche zwei gleiche Körper geben 37
  b. Veränderung der Lichtintensität, wenn zwei festverbundene gleiche Körper um die verticale Axe gedreht werden 45
  c. Veränderung der Lichtintensität, wenn der Winkel zwischen den beiden gleichen Körpern sich ändert 46
  d. Veränderung der Lichtintensität, wenn die Dicke der beiden gleichen Körper sich ändert 51
VI. Ein anisotroper crystallähnlicher Körper mit weissem Lichte beobachtet. Bildung der Interferenzfarben 58
  a. Veränderung der Interferenzfarbe bei wechselnder Dicke des Körpers oder in einem Keile 59
  b. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Körper um seine verticale Axe gedreht wird 61
  c. Berechnung der Interferenzfarben aus den Intensitäten der zusammentretenden homogenen Farben 62
VII. Zwei anisotrope crystallähnliche Körper mit weissem Lichte beobachtet 67
  a. Die homologen Schwingungsebenen fallen zusammen oder kreuzen sich rechtwinklig (Additions- und Subtractionsfarben) . . . . . . —
  b. Veränderung der Interferenzfarben, wenn der Winkel zwischen zwei gleichen über einander liedenden Körpern bei diagonaler Stellung der Schwingungsmediane sich ändert 70

Pag.

- *c.* Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Winkel zwischen zwei gleichen über einander liegenden Körpern bei orthogonaler Stellung der Schwingungsmediane sich ändert 75
- *d.* Veränderung der Interferenzfarbe, wenn zwei festverbundene gleiche Körper um die verticale Axe gedreht werden 76
- *e.* Veränderung der Interferenzfarbe, wenn zwei gleiche Körper in constanter Lage ihre Dicke ändern 79
- *f.* Vergleichung der Interferenzfarben zweier übereinander liegender Körper mit denen eines einzigen Körpers 81

VIII. Ein anisotroper crystallähnlicher Körper, auf einem bekannten Crystallplättchen liegend 82

- *a.* Bestimmung der Intensität des homogenen Lichtstrahls 83
- *b.* Veränderung der Interferenzfarbe (bei Anwendung von weissem Lichte). Additions- und Subtractionsfarben, für verschiedene Crystallplättchen 86

IX. Zwei anisotrope crystallähnliche Körper, die übereinander auf einem bekannten Crystallplättchen liegen 90

- *a.* Bestimmung der Intensität des homogenen Lichtstrahls; Charakter der Interferenzfarben . . . . . —
- *b.* Interferenzfarben in den beiden orthogonalen Stellungen der Schwingungsmediane 94
- *c.* Interferenzfarben in den beiden diagonalen Stellungen der Schwingungsmediane 97
- *d.* Veränderung der Interferenzfarbe, wenn man das Körperpaar um seine verticale Axe dreht 98
- *e.* Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Winkel zwischen den beiden Körpern sich ändert 100

X. Körper mit radialgestellten anisotropen Elementen, allein oder auf einem Crystallplättchen 101

- *a.* Senkrecht stehender Cylinder und Hohlcylinder 102
- *b.* Horizontal-liegender Cylinder, in welchem eine Elastizitätsaxe radial, eine andere der Cylinderaxe parallel ist 103
- *c.* Horizontal-liegender Cylinder, in welchem eine Elastizitätsaxe radial, die beiden andern zur Cylinderaxe schief gestellt sind 108
- *d.* Horizontal-liegender Hohlcylinder 113
- *e.* Ellipsoidische und kugelige Körper 116
  - *α.* Kugel mit gleichen Durchmessern 117
  - *β.* Kugel mit einer Axe 121
  - *γ.* Rotationsellipsoid 124
  - *δ.* Hohle Kugeln und Ellipsoide 125

Untersuchungen über den Flechtenthallus von Dr. S. Schwendener.

II. Laub- und Gallertflechten.

1. Die Thallusschichten pag. 127. — 2. Die Wachsthumstypen 129. — 3. Das Absterben der oberen Rinde und der Gonidien 132. — 4. Die Entwicklung und Vermehrung der Gonidien 133. — 5. Die Soredien 136. — 6. Der Hypothallus 137. — 7. Das Flechtenindividuum 140. — 8. Die körnigen Einlagerungen 142. — 9. Wachsthum der Membranen 143. — 10. Verhalten der Membranen gegen chemische Reagentien 144. — 11. Bemerkungen zur Systematik 145. — 12. Zusammenstellung der Gattungen 149. — Anaptychia. Tornabenia 154. — Parmelia 155. — Imbricaria 157. — Physcia 160. — Placodium 164. — Sticta 166. — Nephroma 173. — Peltigera 174. — Solorina 176. — Heppia 178. — Umbilicaria 179. — Gyrophora 181. — Endocarpon 184. — Endopyrenium. Catopyrenium 186. — Placidium 189. — Lenormandia 189. — Pannaria 190.

Erklärung der Tafeln 195

Die Anwendung des Polarisationsmicroscops auf die Untersuchung der organischen Elementartheile.

Die Anwendung des Polarisationsapparates für die microscopischen Beobachtungen ist ohne Einsicht in die optischen Vorgänge von keinem wissenschaftlichen Nutzen. Die physikalischen Lehrbücher geben wohl über die Polarisations-Erscheinungen im Allgemeinen, nicht aber über das Polarisationsmicroscop Auskunft, so dass es für den nicht speziell physikalisch gebildeten Microscopiker wohl sehr schwierig und zeitraubend sein möchte, sich eine Einsicht in die Erscheinungen zu verschaffen, welche für ihn gerade von Wichtigkeit sind. Nun hat zwar Carl von Erlach (Müllers Archiv 1847) eine theoretische Auseinandersetzung gegeben. Dieselbe genügt aber für den jetzigen Standpunkt nicht mehr.

Ich sah mich daher veranlasst, meine Abhandlung über die Polarisationserscheinungen in zwei Theile zu sondern, einen allgemeinen, welcher die optischen Gesetze behandelt, und einen speziellen, welcher sich mit der Anwendung derselben auf die Elementarorgane beschäftigt. In dem allgemeinen Theil habe ich einleitend auch die elementaren Phänomene des Lichtes, welche zum Verständniss der Polarisationserscheinungen dienen, zusammengestellt. Der Physiker und der physikalische Physiolog werden diese Seiten überschlagen.

Die Interferenz zweier Lichtstrahlen musste einlässlicher behandelt werden, als es in den physikalischen Lehrbüchern geschieht, weil sie die Grundlage für alle Vorgänge im Polarisationsmicroscop bildet. Von besonderer Wichtigkeit sind einige Probleme, welche die Intensität des aus der Interferenz resultirenden homogenen Lichtstrahls unter bestimmten Bedingungen betreffen. Denn ihre Lösung gibt uns Aufschluss über die verschiedenen Erscheinungen, die ein einzelner doppelbrechender Körper und ein Paar solcher Körper für sich oder auf einem dritten doppelbrechenden Körper (Crystallplättchen) liegend darbieten. Diese Probleme mussten weitläufiger erörtert und mathematisch begründet werden, weil sie einerseits gerade für das Polarisationsmicroscop stete Anwendung finden, und anderseits in den optischen Handbüchern und soviel mir bekannt ist, überhaupt nicht behandelt worden sind. Die mathematische Beweisführung habe ich in den Noten unter dem Text gegeben; und ich habe sie, soweit es immer möglich war, an geometrische Constructionen geknüpft, weil sie in dieser Weise ein allgemeineres Verständniss finden dürfte

Ohne die theoretische Betrachtung der genannten Probleme ist es unmöglich, sich eine klare und richtige Vorstellung von dem Verhalten der Zelle, des Stärkekorns, der Faser im Polarisationsmicroscop zu machen; die wichtigsten neuen Thatsachen, welche in dem zweiten Theil enthalten sind, wurden zuvor durch die Theorie angekündigt und dann erst durch die Beobachtung bestätigt; die fernern Fortschritte, welche die Untersuchungsmethode mit dem Polarisationsmicroscop hoffen lässt, werden nur dadurch möglich sein, dass die Theorie und deren Anwendung auf die Beobachtung weiter verfolgt wird. Gewinnung neuer Thatsachen lediglich durch empirische Beobachtung ist auf diesem Gebiete ganz undenkbar. Ich glaube dadurch die weitläufigere Behandlung des allgemeinen Theils gerechtfertigt zu haben.

Was den zweiten Theil betrifft, so dürfte es nicht unangemessen sein, hier zum Voraus auf die Wichtigkeit hinzuweisen, welche das Polarisationsmicroscop für die Untersuchung der organischen Gewebe immer mehr gewinnt. Bisher hat man mit Hülfe desselben vorzüglich in folgenden Richtungen Aufklärung erwartet und gesucht. Einmal sollten damit crystallinische Gebilde im Zelleninhalte und in andern Flüssigkeiten unterschieden werden; in der That habe ich mit dem polarisirten Lichte neue Gebilde erkannt, welche ohne dasselbe von andern nicht unterscheidbar sind. Ebenso war die Anwendung auf die microscopischen Crystalle nahegelegt, und es unterliegt keinem Zweifel, dass man in manchen Fällen das Crystallsystem für dessen Erkennung die mangelhaften microscopischen Winkelmessungen nicht ausreichen, wird bestimmen können. Fast ausschliesslich beschäftigten sich aber die Polarisationsmicroscopiker bis jetzt mit der Frage, ob die Substanz der Elementarorgane einfach oder doppelbrechend sei. Hugo v. Mohl legte Gewicht darauf, dass die optischen Erscheinungen von der chemischen Zusammensetzung bedingt werden; und wenn auch seine Folgerungen im Allgemeinen sich als unrichtig erweisen, so geht doch in einzelnen Fällen mit der chemischen Umsetzung eine Veränderung der optischen Reaction parallel.

Zu diesen Aufschlüssen, welche der Polarisationsapparat bisher den microscopischen Forschern gewährte, kommen andere, wie ich glaube, nicht minder wichtige hinzu. Die optischen Erscheinungen zeigen, dass die Zellmembranen aus unendlich kleinen (bei allen Vergrösserungen unsichtbaren) crystallinischen Theilchen bestehen, die lose neben einander liegen. Dieselben sind bei den Pflanzen in der Regel optisch zweiaxig; in einzelnen Fällen lässt sich die Lage der optischen Axen und der Winkel zwischen denselben annähernd bestimmen. Die drei Elastizitätsaxen haben eine bestimmte Stellung mit Rücksicht auf die innere Structur der Elementarorgane (Schichtung und Streifungen). Diess gibt uns die Möglicheit, in manchen Fällen, wo der innere Bau dem Microscopiker unzugänglich ist, mit grösster Genauigkeit die Richtung der Molecularschichten und in denselben die Richtung der Molecularreihen zu bestimmen. Nicht der geringste Nutzen der optischen Analyse wird in Zukunft der sein, dass sie in soliden Körnern und Fasern, welche dem bewaffneten Auge homogen erscheinen, eine bestimmte Structur nachzuweisen und somit zu entscheiden vermag, nach welchem Typus dieselben gebaut sind.

Eine Reihe von Fragen gehen aus den oben angeführten Thatsachen hervor, welche ebenfalls durch das Polarisationsmicroscop gelöst werden müssen. Sie betreffen namentlich das Verhältniss, das zwischen der Anordnung der Molecüle und verschiedenen Lebenserscheinungen der Elementarorgane besteht. Da jene unendlich kleinen crystallinischen Theilchen lose neben einander liegen, so können sie wenigstens die Richtung ihrer Axenstellung innerhalb gewisser Grenzen verändern. Der optische Effect lässt beurtheilen, ob die Lagerung derselben im Allgemeinen regelmässiger (übereinstimmender) oder unregelmässiger wird. Er zeigt unter anderm, dass beim Wachsthum, bei der Zu- und Abnahme der Imbibitionsflüssigkeit die Molecüle der Membranen nicht bloss sich von einander entfernen und einander nähern, sondern dass dabei auch ihr Parallelismus bald vollkommener wird, bald geringere oder grössere Störungen erleidet.

Das Vorstehende und die ganze nachfolgende Abhandlung, welche sich hauptsächlich auf Untersuchungen in den Jahren 1859 und 1860 gründet, war geschrieben, als ich Valentin's Werk: „Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe in polarisirtem Lichte" erhielt. Hierin ist für den physikalisch und optisch gebildeten Leser Alles zusammengestellt, was bis jetzt für die Polarisationserscheinungen in der Theorie und Anwendung geleistet wurde. Diess konnte mich indess nicht abhalten, meine Arbeit zum unveränderten Abdrucke zu bringen, da dieselbe einen andern Zweck im Auge hatte und daher auch eine andere Entwicklung befolgte. Indem ich Alles ausschloss, was nicht unmittelbar das Polarisationsmicroscop betrifft, stellte ich mir namentlich die Aufgabe, die Vorgänge in diesem Instrument einlässlicher zu studiren und mit den gewonnenen theoretischen Resultaten neue Fragen zur Erledigung zu bringen.

I. Einleitung.

a. Reflexion und Brechung.

Die Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Punkte ausgehen, pflanzen sich geradlinig fort, so lange sie in dem nämlichen Medium bleiben. In durchsichtigen Körpern verlieren sie nur eine sehr geringe Menge ihrer Intensität; in durchscheinenden büssen sie viel davon ein; in undurchsichtige Körper vermögen sie nur auf eine äusserst geringe Distanz einzudringen, da sie von der Substanz derselben rasch absorbirt werden. Angenommen dass in einem vollkommen durchsichtigen Körper der Lichtverlust unendlich gering sei und dessnahen vernachlässigt werden könne, so nimmt die Intensität des Lichtes mit der Entfernung von dem leuchtenden Punkte in dem Verhältnisse ab, wie die Quadrate dieser Entfernung zunehmen; denn die divergirenden Lichtstrahlen erleuchten, je mehr sie sich von ihrer Quelle entfernen, eine um so grössere Fläche, was für die Flächeneinheit eine um so geringere Menge von Strahlen ergibt.

Wenn die Lichtstrahlen (Fig. 1, a) auf ihrem Wege ein anderes Medium antreffen, so dringen sie theilweise in dasselbe ein, theilweise werden sie an der Grenze desselben zurückgeworfen. Die letzteren entfernen sich von dem reflectirenden Körper in der Art, dass der Reflexionswinkel (l) dem Einfallswinkel (i) gleich ist und mit demselben in einer Ebene liegt (Spiegel etc.). Ein rechtwinklig auffallender Strahl kehrt, wenn er reflectirt wird, den nämlichen Weg zurück.

Der in ein differentes Medium eindringende Strahl (Fig. 1, c) behält nur dann seine urspüngliche Richtung bei, wenn er senkrecht auf die Grenzfläche trifft. Berührt er sie unter irgend einem andern Winkel, so wird er von seiner Bahn abgelenkt, „gebrochen". Ist der Körper einfachbrechend, so liegt der Einfallswinkel (i) und der Brechungs- oder Refractionswinkel (r) in einer Ebene. Für dieselben Medien stehen die Sinus der beiden Winkel immer in demselben Verhältniss zueinander oder $\sin i = n \,.\, \sin r$ und daher $n = \frac{\sin i}{\sin r}$. n ist der Brechungsquotient, eine für die nämlichen zwei Medien constante Grösse. Wenn der Lichtsrahl in ein stärker brechendes oder optisch dichteres Medium übergeht, so ist $r < i$ und demnach $n > 1$. Tritt er dagegen in eine schwächer brechende oder optisch dünnere Substanz ein, so ist $r > i$ und $n < 1$. Im ersteren Falle wird der gebrochene Strahl dem Einfallslothe genähert (Fig. 1, r), im zweiten davon entfernt ($r_,$). Der Strahl a tritt aus einem dünnern in ein dichteres Medium; er wird nach b reflectirt und nach c gebrochen. Der Strahl c geht dann wieder in das anfängliche Medium über; er wird nach d zurückgeworfen und nach e gebrochen. Wenn die Grenzflächen parallel sind, so laufen a und e parallel und $\angle\, i_, = \angle\, l_,$. — Beim Uebergang von Luft in Glas ist der Brechungsquotient 1,6 (oder $^3/_2$), beim Uebergang von Glas in Luft $^1/_{1,6}$ (oder $^2/_3$). — Es ist einleuchtend, dass alle Strahlen, die unter irgend welchen Winkeln aus einem schwächer brechenden auf ein stärker brechendes Medium treffen, theils zurückgeworfen, theils gebrochen werden; und dass der Brechungswinkel eine gewisse Grösse, die man als Grenzwinkel ($\sin r = \frac{1}{n}$) bezeichnet, nicht überschreiten kann. Langen die Strahlen dagegen aus einem stärker brechenden bei einem schwächer brechenden Mittel an, so gehen die gebrochenen, wenn der Grenzwinkel erreicht ist, parallel der Oberfläche dahin; und alle, deren Einfallswinkel grösser ist, als der Grenzwinkel, werden bloss reflectirt und nicht gebrochen.

Diese Gesetze der Brechung gelten nur für eine gewisse Classe von Körpern, welche man einfachbrechende oder isotrope nennt. Tritt ein Lichtstrahl in ein doppelbrechendes oder anisotropes Mittel ein, so wird er in zwei Strahlen mit ungleichem Brechungsverhältniss zerlegt; dieselben divergiren unter sich und gehen beim Austritt in ein einfachbrechendes Medium getrennt aber parallel neben einander weiter. Unter den doppelbrechenden crystallähnlichen Körpern gibt es 2 Klassen. Die einen nennt man einaxige, die andern zwei- oder mehraxige. Bei jenen folgt der eine der beiden gebrochenen Strahlen ganz dem Gesetze der gewöhnlichen Brechung in isotropen Substanzen; man nennt ihn desswegen den gewöhnlichen oder ordinären (o). Er liegt in der gleichen Ebene mit dem Einfallsloth und dem einfallenden Strahl, und für ihn gilt die Gleichung $n = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}$. Der andere der beiden gebrochenen Strahlen verhält sich abweichend, und wird der ungewöhnliche oder extraordinäre Strahl (e) genannt. Er liegt nicht in der Einfallsebene, sondern tritt seitwärts aus derselben heraus. Sein Brechungsquotient ist nicht constant; er weicht von dem des ordentlichen Strahls um so mehr ab, je schiefer die Richtung des gebrochenen Strahls gegen die Crystallaxe wird. Der extraordinäre Strahl (e) ist in manchen optisch einaxigen Körpern stärker gebrochen als der ordinäre (o in Fig. 2); in den andern verhält es sich umgekehrt (Fig. 3). In den erstern ist der Brechungsquotient des ungewöhnlichen Strahls (ε) grösser als derjenige des gewöhnlichen (ω), in den letztern dagegen kleiner. Jene heissen positive, diese negative einaxige Körper. In beiden gibt es eine Richtung für den auffallenden Strahl, bei welcher die Differenz zwischen ω und *e* am grössten ist; diese Differenz nimmt von hier nach einer andern, mit ihr rechtwinkeligen Richtung ab und wird daselbst Null. Die Richtung, in welcher der extraordinäre Strahl das gleiche Brechungsvermögen erlangt hat, wie der ordinäre, und somit nicht von ihm divergirt, heisst die optische Axe. Da es nur eine solche Richtung gibt, so heissen die Körper optisch einaxig.

In den optisch zweiaxigen Körpern folgt keiner der beiden Strahlen, in welche sich der einfallende spaltet, dem gewöhnlichen Brechungsgesetz. Sie sind also beide dem extraordinären Strahl der einaxigen Körper zu vergleichen. Es gibt ferner nicht 1 sondern 2 (unter verschiedenen Winkeln zu einander geneigte) Richtungen, in welcher die beiden Strahlen gleichgebrochen sind und nicht divergiren, also 2 optische Axen. Von diesen beiden Richtungen ausgehend, nimmt die Differenz des Brechungsquotienten des einen und andern Strahls zu.

b. Undulationstheorie.

Nach der Undulationstheorie pflanzt sich das Licht durch wellenartige Bewegungen der Aethertheilchen fort. Dieselben schwingen in Ebenen, welche auf dem Lichtstrahl rechtwinklich stehen, hin und her. Fig. 4 A zeigt eine Reihe hinter einander liegender Aethertheilchen, welche den Strahl in der Richtung r—u fortpflanzen sollen. Das erste bei r fängt an um seine Gleichgewichtslage hin und her zu oscilliren; bald darauf beginnt das zweite, dann das dritte u. s. f. s hebt seine Bewegungen an, wenn r die halbe Schwingung eben vollendete. t fängt an sich zu rühren, wenn r eine ganze, u, wenn dasselbe 1½ Touren gemacht hat. Fig. 4 B zeigt die gleiche Reihe von Aethertheilchen, wenn sie in voller Bewegung sich befinden. Sie schwingen nun gleichzeitig in den durch Pfeile angegebenen Richtungen; a, b und c sind momentan in Ruhe, weil ihre Bewegung hier in die entgegengesetzte übergeht. — mm und nn sind die Grenzen, zwischen denen die Schwingungen stattfinden; r m oder r n ist die Schwingungs- oder Oscillationsweite. Das Aethertheilchen, das erregt wird, beginnt mit kleinen Schwingungen; dieselben steigern sich bis zur Oscillationsweite, und nehmen dann ebenso allmälig ab, bis das Theilchen in seiner ursprünglichen Lage zur Ruhe kommt. — Die Dauer bleibt für alle Schwingungen eines Aethertheilchens die nämliche; es nimmt also mit der Grösse der Oscillationen auch die Schnelligkeit der schwingenden Bewegung zu und ab. — Die Distanzen rt, su (ac) geben die Wellenlänge, d. h. die Entfernung zwischen zwei Aethertheilchen, von denen das zweite seine Schwingung in dem Momente beginnt, in welchem das erste die seinige vollendet. ab, bc, rs, st, tu sind halbe Wellenlängen. Daraus folgt auch, dass ein Lichtstrahl während einer Oscillation um eine Wellenlänge fortrückt. 2 Aethertheilchen, die um eine ganze Wellenlänge von einander entfernt sind, befinden sich in der nämlichen Schwingungsphase (sie machen genau dieselbe Bewegung).

Ein Strahl des weissen Sonnenlichtes ist aus sehr vielen gefärbten (homogenen oder elementaren) Strahlen zusammengesetzt, die rücksichtlich ihrer Färbung allmälig in einander übergehen. Man unterscheidet 7 Hauptfarben: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett. Die Farbe eines Lichtstrahls hängt von der Oscillationsdauer ab, d. h. von der Zeit, welche ein Aethertheilchen braucht um einmal hin und her zu schwingen. Für den rothen Strahl, welcher am langsamsten schwingt, beträgt die Oscillationsdauer $\frac{1}{481{,}000{,}000{,}000{,}000}$, für den violetten welcher am schnellsten schwingt $\frac{1}{764{,}000{,}000{,}000{,}000}$ Secunde. Wenn alle Strahlen in einem Lichtbüschel gleich schnell schwingen, so ist dasselbe homogen (einfach) und mit der ihm eigenthümlichen Farbe behaftet. Treten alle homogenen Lichtarten in dem Verhältniss, wie sie im Sonnenlichte enthalten sind, zusammen, so erregen sie in unserm Auge den Eindruck von weiss. So oft ich in der Folge von dem Lichtstrahl spreche, so ist darunter immer der homogene oder elementare Strahl gemeint, wenn er auch nicht ausdrücklich so bezeichnet wird.

Die Schwingungsdauer ist eine constante Grösse; dagegen wechseln Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Wellenlänge innerhalb bestimmter Grenzen; und zwar sind letztere beide Werthe einander proportional. Wenn L die Wellenlänge, V die Geschwindigkeit des Lichtstrahls und T die Oscillationsdauer bezeichnet, so ist $L = T.V$, oder $V = \frac{L}{T}$. Bei gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben die rothen Strahlen die längsten, die violetten dagegen die kürzesten Lichtwellen. Die folgende Tabelle enthält die Länge der Wellen in der Luft für verschiedene Elementarstrahlen ausgedrückt in Millimetern:

Aeusserstes Violett	0,000406	Gelb-Grün .	0,000532
Violett	0,000423	Gelb . . .	0,000551
Violett-Indigo . .	0,000439	Gelb-Orange	0,000571
Indigo	0,000449	Orange . .	0,000583
Blau-Indigo . .	0,000459	Roth-Orange	0,000596
Blau	0,000475	Roth . . .	0,000620
Blau-Grün . . .	0,000492	Aeusserstes Roth	0,000645
Grün	0,000511		

Der nämliche Strahl bewegt sich in dem dichtern Medium langsamer, schneller in dem dünnern. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit steht in einem bestimmten Verhältniss zur Brechung. Wenn i und r den Einfalls- und den Brechungswinkel, V_1 und V_2 die Geschwindigkeit im ersten und im zweiten isotropen Medium bezeichnen, so hat man die Gleichung $\text{Sin } i : \text{Sin } r = V_1 : V_2$; und $V_2 = \frac{V_1 . \text{Sin } r}{\text{Sin } i}$. Da $\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = n$, wenn n der Brechungsquotient ist (Pag. 4), so ist auch $V_2 = \frac{V_1}{n}$ und $n = \frac{V_1}{V_2}$. Da n eine constante Grösse darstellt, so erleidet also auch ein Strahl, wenn er in ein anderes einfachbrechendes Medium eintritt, die nämliche Veränderung seiner Geschwindigkeit, unter welchem Winkel er auch auffällt und gebrochen wird.

Das dichtere Medium, dem auch eine grössere Aetherdichtigkeit, somit eine gedrängtere Lage der Aethertheilchen zukommt, hat also ein geringeres Fortpflanzungs- und ein grösseres Brechungsvermögen. Was die gasförmigen Substanzen betrifft, so nimmt die optische Dichtigkeit in gleichem Maasse zu, wie die gewöhnliche, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, welche gleich dem absoluten[1] Brechungsquotienten für alle Lichtarten die nämliche ist, vermindert sich in dem Verhältniss wie die Dichtigkeit wächst. Im luftleeren Raume, sowie in der Atmosphäre eilen alle Strahlen nahezu mit der gleichen Schnelligkeit von 42,000 Meilen in der Secunde dahin, und die Wellenlänge der äussersten rothen Strahlen beträgt 0,00065, die der äussersten violetten 0,00041 M. M.[2]. Im Wasser pflanzen sich die Strahlen $^3/_4$, im Glas $^2/_3$, in den am stärksten brechenden Körpern $^2/_5$ so schnell fort als in der Luft. Ferner verhalten sich in flüssigen und festen Körpern die verschiedenen homogenen Lichtarten deutlich ungleich; die violetten Strahlen pflanzen sich am langsamsten, die rothen am schnellsten fort; jene werden am meisten, diese am wenigsten abgelenkt.

Die Intensität des Lichtes oder die leuchtende (lebendige) Kraft ist gleich dem Produkt aus der Aethermasse in das Quadrat der Geschwindigkeit. Sie hängt also, da die Dichtigkeit des Aethers in einem homogenen Medium überall gleich ist, von der Oscillationsweite ab; denn die Oscillationsweite bedingt für jeden homogenen Lichtstrahl (weil die Schwingungsdauer constant ist) die Geschwindigkeit der Aethertheilchen. Die letztere ist aber nicht überall die gleiche, sondern ändert sich während einer Schwingungsdauer stetig. In Fig. 7 pflanzt sich der Lichtstrahl r senkrecht zur Papierebene fort. Wenn ein Aethertheilchen um seine Gleichgewichtslage r zwischen m und n hin und her schwingt, so ist seine Schnelligkeit am grössten in r und nimmt von da nach m und n hin ab. Man kann sie wie die Pendelschwingung als Kreisfunktion darstellen. Denkt man sich nämlich einen Punkt der mit

---

(1) Der absolute Brechungsquotient ist der Quotient der Lichtbrechung aus dem leeren Raum in irgend ein anderes Mittel; der relative entspricht dem Uebergang aus dem Mittel A in das Mittel B.

(2) In der Atmosphäre ist die Geschwindigkeit etwas geringer, als im Weltenraum; das Verhältniss ist 1 : 1,000294.

constanter Geschwindigkeit den Kreis r, n r,, m beschreibt, so stellt die Bewegung des Fusspunktes aller aus den Punkten der Kreislinie (r, s, t, u, n u,, t,, s,, r,, q,, p,, o,, m o, p, q, r,) auf die Abscissenaxe gefällten Perpendikel, die Bewegung des Aethertheilchens (in r s t u n u t s r q p o m o p q r) dar. Die Oscillationsgeschwindigkeit ändert sich proportional den von der Kreislinie auf die Bahn m n gefällten Verticalen. Wenn man eine Schwingung des Aethertheilchens aus der Gleichgewichtslage r anfangen lässt, so dass ihr ganzer Verlauf r n r m r ist, so entspricht die Geschwindigkeit dem Cosinus des von dem Punkte r, aus durchlaufenen Bogens also $v = J\mathrm{Cos}\,(2\,\pi\,\frac{t}{T})$, wenn J die grösste Geschwindigkeit in r, welche man auch die Vibrationsintensität nennt, T die Oscillationsdauer, t den schon verflossenen Theil der Oscillationsdauer, und $2\,\pi$ den ganzen Umfang bezeichnet. Man kann indess ebensowohl die Schwingung des Aethertheilchens von dem Ruhepunkt m oder n an datiren; diese Betrachtung ist bequemer und anschaulicher und wird auch für die Folge festgehalten werden. Die Schwingung hat dann den Verlauf m r n r m; und die Oscillationsgeschwindigkeit ist proportional dem Sinus des von dem peripherischen Punkte durchlaufenen Bogens oder $v = J\,\mathrm{Sin}\,(2\,\pi\frac{t}{T})$.

$2\,\pi\,\frac{t}{T}$ stellt einen aliquoten Theil der ganzen Schwingung oder die Schwingungsphase dar. Lässt man die Oscillation in m beginnen, so entspricht, wenn das Aethertheilchen die Punkte o p q r bis s durchlaufen hat, seine Phase dem Bogen ms,; langt es von n zurückkehrend zum zweitenmale in s an, so ist seine Phase gleich dem Bogen m r, n s,,. — Wenn, wie es in dem eben angeführten zweiten Beispiele der Fall ist, $2\,\pi\,\frac{t}{T}$ grösser als 180° wird, so nimmt die Oscillationsgeschwindigkeit v einen negativen Werth an, weil das Aethertheilchen in n seine Richtung ändert und in entgegengesetzter Richtung zurückkehrt. Es ist ferner klar, dass die Geschwindigkeit 2mal den grössten Werth erreicht, wenn $2\,\pi\,\frac{t}{T} = 90^\circ$ oder 270° (in r, und r,,), 2mal Null wird, wenn $2\,\pi\,\frac{t}{T} = 180^\circ$ oder 360° (in m und n), und dass alle übrigen Geschwindigkeiten während einer Bahn 4mal auftreten, 2mal mit positiven, 2mal mit negativen Zeichen. — Oscillationsweite (O) und Vibrationsintensität (J) sind proportional; die Lichtintensität (L) aber verhält sich wie deren Quadrate, so dass also $L = CO^2$ oder $L = C_{,}J^2$, wo C und C, Constanten darstellen. Wenn die Vibrationsintensität oder die Oscillationsweite sich verdoppelt, so nimmt die Lichtintensität um das Vierfache zu.

c. Polarisation.

Die Strahlen des gewöhnlichen Lichtes, wie es von einem leuchtenden Körper kommt, haben keine bestimmte Schwingungsrichtung. Die Aethertheilchen, welche die Fortpflanzung vermitteln, bewegen sich in den zu den Strahlen rechtwinkligen Ebenen nach allen möglichen Seiten. Unter gewissen Bedingungen werden diese Schwingungen so geregelt, dass sie alle miteinander übereinstimmen und dass sie im Allgemeinen eine bestimmte Seitlichkeit oder Symmetrie verrathen, indem ihre Oscillationen als aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden Schwingungen zusammengesetzt erscheinen; man nennt solche Strahlen polarisirt. Bei der linearen Polarisation schwingen alle Aethertheilchen in der nämlichen Ebene; die eine der beiden zu einander rechtwinkligen Bewegungen ist Null. Die Schwingungen, durch welche der Lichtstrahl in der Richtung ru von Fig. 4 sich fortpflanzt, geschehen in diesem Falle alle in der Ebene des Papiers, und sind somit auf dem Querschnitt des Lichtstrahls alle parallel mit n r m in Fig. 7. Bei der circularen und elliptischen Polarisation beschreiben die Theilchen gleiche Kreise (m r, n r,, m in Fig. 7 im Querschnitt des Lichtstrahls) oder Ellipsen (m z n z m in Fig. 7); im ersten Fall haben die beiden zu einander rechtwinkligen Schwingungen gleiche (rm und rr,), im zweiten ungleiche Intensität (rm und rz).

Das polarisirte Licht entsteht aus dem unpolarisirten durch Reflexion oder durch Brechung. Wenn ein Lichtstrahl auf die spiegelnde Fläche eines differenten durchsichtigen und einfach brechenden Mediums trifft, so theilt er sich in zwei Strahlen, von denen der eine eindringt, der andere zurückgeworfen wird. Wenn der zurückgeworfene Strahl mit dem gebrochenen einen rechten Winkel bildet, so ist er linear-polarisirt und schwingt nur in einer Ebene. Da der Brechungswinkel nach den verschiedenen Substanzen und den verschiedenen homogenen Strahlen ungleich ist, so bestehen auch verschiedene Bedingungen für die Polarisation. Rothes homogenes Licht wird auf einer Fläche von Spiegelglas am vollständigsten polarisirt, wenn sein Einfallswinkel 56° 34′ beträgt; für violettes Licht muss derselbe 56° 55′, für weisses Licht einen mittlern Werth betragen. Der Polarisationswinkel einer Wasserfläche ist für weisses Licht 53° 11′. Die Ebene, welche durch den einfallenden und reflectirten Strahl gelegt wird, heisst die Polarisationsebene. Fällt das durch Reflexion polarisirte Licht auf eine zweite spiegelnde Fläche, die mit der erstern parallel und somit auf der Polarisationsebene senkrecht ist, so wird es möglichst vollständig reflectirt, und die Strahlen bleiben in der nämlichen Ebene polarisirt. Ist die zweite spiegelnde Fläche dagegen (durch Drehung um 90°) so gestellt, dass sie mit der ersten sich rechtwinklig kreuzt, indess der Einfallswinkel der nämliche bleibt, so wird alles Licht absorbirt und nichts zurückgeworfen.

Die Strahlen, welche in ein durchsichtiges einfachbrechendes Medium eindringen, zeigen ebenfalls theilweise lineare Polarisation, wenn sie auf den reflectirten Strahlen senkrecht stehen. Aber ihre Polarisationsebene bildet mit der Polarisationsebene der letztern einen rechten Winkel. Sie zeigen eine Seitlichkeit, welche von derjenigen der reflectirten um 90° abweicht. Wenn der gebrochene polarisirte Strahl auf einen Spiegel fällt, welcher auf der Ebene, die durch den einfallenden und gebrochenen Strahl gelegt wird, senkrecht steht, so wird derselbe vollständig reflectirt.

Das polarisirte Licht, welches man durch einmalige Reflexion und Brechung erhält, bildet aber nur einen geringen Theil der ganzen auffallenden Lichtmenge. Eine Glastafel wirft etwa den 13ten Theil des empfangenen Lichtes vollständig-polarisirt zurück, und ungefähr eine gleiche Menge polarisirter Strahlen befindet sich unter dem gebrochenen Lichte. Legt man mehrere Glasplatten auf einander, so wiederholt sich der gleiche Process der Reflexion und Brechung bei jeder folgenden Platte, und wendet man einen Satz von zahlreichen Glastafeln an, so wird das unter dem Polarisationswinkel auffallende gewöhnliche Licht ziemlich vollständig polarisirt, die eine Hälfte desselben zurückgeworfen, die andere Hälfte durchgelassen; jene ist in der Einfallsebene, diese senkrecht auf derselben polarisirt.

In den doppelbrechenden Substanzen wird, wie schon angegeben wurde, ein eindringender Lichtstrahl in 2 Strahlen mit ungleichem Brechungswinkel und ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit zerlegt. Dieselben sind linear-polarisirt, ihre Polarisationsebenen stehen rechtwinklig auf einander. Wenn man sie nach ihrem Austritte aus dem doppelbrechenden Körper auf einen mit der erforderlichen Neigung versehenen Spiegel fallen lässt und diesen Spiegel um seine mit den Strahlen parallele Axe dreht, so wird bei einer Stellung einer der beiden Strahlen (a) vollständig, der andere (b) gar nicht reflectirt; wird von diesem Punkte aus der Spiegel um 180° gedreht, so ändert sich nichts; beträgt die Drehung 90 oder 270°, so wird der erste Strahl (a) gar nicht, der zweite (b) vollständig zurückgeworfen. — In den einaxigen Crystallen geht die Polarisationsebene des ordinären Strahles durch den Hauptschnitt; die des extraordinären Strahles schneidet denselben rechtwinklig. Der Hauptschnitt ist die Ebene, welche durch den einfallenden Strahl und die optische Axe gelegt wird; optische Axe aber ist jede mit der Crystallaxe parallele Richtung.

Die Eigenthümlichkeit des linearpolarisirten Strahls besteht darin, dass seine Schwingungen in einer Ebene stattfinden. Die Polarisationsebene und die Schwingungsebene eines Strahles stehen in einer bestimmten Beziehung zu einander. Ueber diese Beziehung herrschen aber ungleiche Ansichten. Nach der gewöhnlichen Theorie schwingt der Strahl in einer zur Polarisationsebene rechtwinkligen Ebene. Nach einer andern Annahme haben die Schwingungen in der Polarisationsebene selbst statt. Die letztere Ansicht scheint mir durch die Versuche Holtzmanns bewiesen (Pogg. Ann. 1856. Bd. 99. p. 446); für dieselbe spricht auch die Vergleichung der Crystalle mit comprimirtem und expandirtem Glas. Eine dritte Möglichkeit gibt es nicht. Für alle Fragen der Optik ist es gleichgültig, ob man der einen oder andern Annahme folge. Die Frage erlangt nur Bedeutung, wenn es sich um Schlüsse von den optischen Erscheinungen auf die Molecularconstitution der Materie handelt. Ich werde später auf diese Frage zurückkommen und fortan bloss von den Schwingungsebenen der polarisirten Strahlen sprechen, indem ich dieselben mit der Polarisationsebene zusammenfallen lasse.

d. Wellenbewegung in den isotropen und einaxigen Medien.

In den einfachbrechenden oder isotropen Medien hat der Aether in allen Richtungen die gleiche Dichtigkeit. Es gehen daher auch die Lichtstrahlen nach allen Richtungen mit gleicher Schnelligkeit. Die Lichtwellen, welche von einem leuchtenden Punkte ringsum ausstrahlen, legen überall in der Zeiteinheit eine gleichgrosse Strecke zurück. Alle Punkte, durch welche eine solche Welle in dem nämlichen Moment geht, bilden zusammen eine Kugelfläche; man nennt diess die Wellenfläche. Da die Aetherdichtigkeit nach allen Richtungen die nämliche ist, so kann ein eindringender Lichtstrahl nach allen Seiten mit gleicher Leichtigkeit schwingen und es ist kein Grund vorhanden, warum er sich in zwei spalten sollte. Zu den Substanzen mit einfacher Brechung gehören die Gase, die Flüssigkeiten und die amorphen festen Körper (wie z. B. das Glas).

In den doppelbrechenden Medien, wohin die Crystalle und die organisirten Körper gehören, ist die Dichtigkeit des Aethers in verschiedenen Richtungen ungleich; in einer Richtung ist sie am geringsten, in einer andern dazu rechtwinkligen am grössten. Demgemäss pflanzen sich die Strahlen mit ungleicher Schnelligkeit fort, je nach der Richtung, in der sie sich bewegen und in der ihre Schwingungen stattfinden Denken wir uns einen leuchtenden Punkt in einem einaxigen Crystall. Von demselben gehen zwei verschiedene Arten von Strahlen aus; die ordinären, welche nach allen Richtungen mit der gleichen Geschwindigkeit sich fortpflanzen, und die extraordinären, welche mit der Richtung ihre Geschwindigkeit verändern. Parallel mit der Hauptaxe des Crystalls (welche zugleich seine optische Axe ist) gehen die extraordinären Strahlen gerade so geschwind als die ordinären; so wie sich die Strahlen in ihrer Richtung von der Hauptaxe entfernen, nimmt die Ungleichheit in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu, und erreicht in den zur Hauptaxe rechtwinkeligen Richtungen das Maximum. Die Wellenfläche der ordinären Strahlen ist kugelförmig, die der extraordinären Strahlen ein Rotationsellipsoid, dessen eine Axe zugleich der Durchmesser jener Kugel ist. Je nachdem der einaxige Crystall optisch positiv oder negativ ist, so trifft bald der lange bald der kurze Halbmesser mit dem Radius der Kugel und mit der Crystallaxe zusammen. Da in den optisch einaxigen positiven Crystallen der extraordinäre Strahl stärker gebrochen wird als der ordinäre, und da der stärker gebrochene Strahl immer der langsamere ist, so muss die kurze Axe des Ellipsoids die Crystallaxe rechtwinklig schneiden. In den negativen Crystallen ist es die lange Axe des Ellipsoides, welche quer zur Crystallaxe verlauft.

Fig. 5 zeigt die kugelige und ellipsoidische Wellenfläche des ordinären und extraordinären Strahles in einem positiven, Fig. 6 in einem negativen Crystall; a – a zeigt die Lage der Crystallaxe an. Wenn eine Linie in irgend welcher Richtung durch den Mittelpunkt c gezogen wird, so gibt der Abstand von da bis zum Kreis (z. B. c e) die Geschwindigkeit des ordinären, der Abstand von da bis zur Ellipse (c f) die Geschwindigkeit des extraordinären Strahles. c a ist für beide Strahlen gleich. c b und c d zeigen den grössten Unterschied zwischen den ordinären und extraordinären Strahlen. In Fig. 5 ist $ce > cf$ und $cb > cd$; die ordentlichen Strahlen gehen schneller als die ausserordentlichen. In Fig. 6 hat das Umgekehrte statt; $ce < cf$ und $cb < cd$. — Fig. 2 zeigt die Strahlenbrechung in einem positiven Crystall, dessen optische Axe mit der

Fläche, auf die der Strahl a auffällt, parallel läuft. Fig. 3 gilt unter der gleichen Bedingung für einen negativen Crystall.

Ueber das Verhalten des Aethers in den einaxigen Crystallen gibt uns das von Natur isotrope Glas, auf welches eine mechanische Kraft einwirkt, einigen Aufschluss. Wenn man dasselbe in einer Richtung zusammenpresst, so wird in dieser Richtung die gewöhnliche Dichtigkeit und ebenso die Aetherdichtigkeit grösser als in allen übrigen Richtungen. Es verhält sich nun optisch wie ein negativ einaxiger Crystall, wobei die Richtung der Compression der crystallographischen Axe entspricht. Das abgeplattete Rotationsellipsoid in Fig. 6, welches die Wellenfläche des extraordinären Strahls darstellt, kann uns zugleich ein ungefähres Bild von der Aetherdichtigkeit im comprimirten Glas und im einaxigen negativen Crystall geben, insoferne dieselbe sich umgekehrt wie die Radien verhält, oder ein Bild von der Elastizität des Aethers, insoferne diese den Radien proportional ist. — Wird dagegen ein Stück Glas aus einander gezogen, so vermindert sich in dieser Richtung die Aetherdichtigkeit; dasselbe hat nun die Eigenschaften eines positiven einaxigen Crystalls angenommen. In dem letztern zeigt demnach der Aether in der Richtung der Axe die geringste, in einer zur Axe senkrechten Ebene die grösste Dichtigkeit. Das verlängerte Rotationsellipsoid, das in Fig. 5 die Wellenfläche des ausserordentlichen Strahles angibt, kann auch hier unter den gleichen Bedingungen uns die Dichtigkeit und die Elastizität des Aethers versinnbildlichen.

Es ist einleuchtend, dass ein Lichtstrahl, der auf einen einaxigen Crystall in irgend einer Richtung mit Ausschluss derjenigen, welche parallel mit dessen Axe ist, fällt und in denselben eindringt, rings um seine Fortpflanzungsrichtung eine ungleiche Aetherdichtigkeit antrifft. Er theilt sich daher in zwei Strahlen, einen ordentlichen und einen ausserordentlichen in der Art, dass die Schwingungsebene des einen der grössten, die des andern der geringsten Elasticität entspricht und dass die beiden Strahlen eine derselben umgekehrt proportionale Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen. Die eine Schwingungsebene muss daher in den Hauptschnitt fallen, die andere senkrecht darauf stehen. — Fällt der Lichtstrahl dagegen parallel mit der Crystallaxe ein, so findet er rings um seine Fortpflanzungsrichtung die gleiche Aetherdichtigkeit; er theilt sich daher nicht in 2 polarisirte Strahlen, oder wie man sich auch ausdrückt, der ordinäre und der extraordinäre Strahl pflanzen sich mit der gleichen Geschwindigkeit fort. — Ich werde im zweiten Theil bei Anlass der Molecularconstitution in den organisirten Körpern auf die Vertheilung des Aethers in den einaxigen Mitteln und auf die Bewegungen in demselben bei der Fortpflanzung der Lichtstrahlen noch ausführlicher eintreten. Hier bemerke ich nur noch, dass nach der gewöhnlichen Ansicht, welche Polarisations- und Schwingungsebene rechtwinkelig zu einander normirt, das Elastizitätsellipsoid die umgekehrte Lage hat; in den positiven einaxigen Crystallen ist es ein abgeplattetes zur Axe quergelagertes, in den negativen ein in der Richtung der Axe verlängertes Ellipsoid.

c. Wellenbewegung in den zweiaxigen Medien.

Während in den optisch einaxigen Crystallen die Dichtigkeit oder Elastizität des Aethers in zwei zu einander rechtwinkeligen Richtungen (somit in einer Ebene) gleich, in der dritten dazu senkrechten Richtung ungleich ist, so finden sich in den optisch zweiaxigen Crystallen 3 zu einander rechtwinkelige Axen, von denen die eine der grössten, die andere einer mittlern, die dritte der geringsten Aetherdichtigkeit entspricht. Jeder Strahl, der nicht ringsum eine gleiche Beschaffenheit des Aethers antrifft, theilt sich in 2 rechtwinklig zu einander polarisirte. Es mögen in einem zweiaxigen Körper die Aetherdichtigkeiten in den 3 Axenrichtungen A B C sich so verhalten, dass der Richtung C die grösste Dichtigkeit oder die geringste Elastizität, der Richtung A die geringste Dichtigkeit oder die grösste Elastizität entspricht. Nach der bisherigen Annahme über die Beziehung der Schwingungsrichtungen zu den Aetherdichtigkeiten werden sich die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtwellen in den 3 durch die Axen gelegten Ebenen folgendermassen ausbreiten.

In Fig. 9 steht die Axe der geringsten Dichtigkeit senkrecht auf r, die beiden andern Axen haben die angedeutete Lage. Von den Strahlen, die von r in der Ebene des Papiers ringsum ausgehen, schwingen die einen in dieser Ebene, die andern senkrecht auf derselben; die Wellen der einen breiten sich kreisförmig aus (c c c c); der Wellenumfang der andern ist eine Ellipse (b a b a). Die einen polarisirten Strahlen langen also gleichzeitig in dem Kreise z. B. mit der relativen Geschwindigkeit 4, die andern in der Ellipse mit der Geschwindigkeit 6 und 9 an[1]) Die Geschwindigkeiten sind für jede Richtung durch den Abstand von r ausgedrückt. — In Fig. 10 steht die Axe der grössten Dichtigkeit (C) senkrecht auf r. Die einen Strahlen schwingen wieder in der Papierebene, die andern rechtwinklig dazu. Die einen haben eine kreisrunde Welle und langen nach einer bestimmten Zeit mit der relativen Geschwindigkeit 9 in dem Umfang a a a a an. Die andern kommen in der nämlichen Zeit mit der relativen Geschwindigkeit 4 und 6 in der Ellipse c b c b an. — In Fig. 11 befindet sich die Axe der mittlern Dichtigkeit (B) lothrecht auf r. Die Wellen der einen polarisirten Strahlen langen nach einer bestimmten Zeit in dem Kreise b b b b mit der relativen Geschwindigkeit 6 an. Die der andern pflanzen sich in der Richtung A mit der Schnelligkeit 9, in der Richtung C mit der Geschwindigkeit 4 fort, und bilden in derselben Zeit die elliptische Welle a c a c.

Die Figuren 9, 10, 11 zeigen die Wellen, welche die gleichzeitig von r ausgehenden polarisirten Strahlen auf den durch die Axen gelegten Ebenen (die man auch Hauptschnitte nennt) beschreiben. Wenn man diese 3 Wellenpaare zu vollständigen Wellenoberflächen verbindet (was sich durch ein Modell aus rechtwinklig sich kreuzenden Papieren, auf denen die Wellenflächen wie Fig. 9, 10, 11 verzeichnet zind, anschaulich machen lässt), so erhält man 2 in einander ge-

---

(1) Die Differenzen wurden so gross angenommen, um in der Construction sich bemerkbar zu machen. In Wirklichkeit sind sie immer äusserst gering.

schlungene und in einander übergehende Flächenzweige, die sich in 4 Punkten (Fig. 11, s, t, s, t) schneiden. Die Linien, welche diese Punkte und den Erregungsmittelpunkt verbinden, s r s und t r t, sind die Richtungen, in denen die beiden polarisirten Lichtstrahlen mit gleicher Schnelligkeit sich bewegen. Man nennt sie die scheinbaren optischen Axen. Eine anderweitige Betrachtung (worüber die Lehrbücher der Physik und der Optik Auskunft geben) zeigt nämlich, dass die ebenen Wellen der beiden polarisirten Componenten, auf die es ankommt, sich in dieser Richtung mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen. Um jeden der 4 Punkte liegt eine trichterförmige Oeffnung, welche in Fig. 11 durch die den Kreis und die Ellipse berührenden Tangenten (o q, p q) begrenzt werden. Der von dem Erregungsmittelpunkt nach jeder Vertiefung ausgehende Strahlenkegel (Fig. 11, o r q, p r q) setzt sich ausserhalb des Crystalls als ein Bündel paralleler Strahlen (o q u v, p q u v) fort, dessen Wellenebenen mit der Tangente parallel sind. Das von dem Mittelpunkt auf die Tangente gezogene Perpendikel (Fig. 11, ro, rp) bezeichnet die Richtung, in welcher die ebenen Wellen der beiden polarisirten Componenten mit gleicher Geschwindigkeit sich fortpflanzen, in welcher sie somit keinen Phasenunterschied erlangen und auch keine Interferenzfarbe erzeugen können. Es gibt zwei solcher Richtungen (o r o, und p r p,), man nennt sie die wirklichen optischen Axen. Die Körper aber heissen optisch zweiaxige. Auf allen übrigen um c gelegten Radien bewegen sich die ebenen Wellen der beiden polarisirten Componenten mit ungleicher Schnelligkeit und zwar nimmt die Ungleichheit zu, je mehr sie sich der Richtung nach von den optischen Axen entfernen und erreicht in den Richtungen der Aetherdichtigkeitsaxen A, B und C ein Maximum.

Die beiden optischen Axen liegen immer in der Ebene der längsten und kürzesten Axe des Aetherdichtigkeitsellipsoids (A und C), können aber unter allen möglichen Winkeln gegen einander geneigt sein. Es ist einleuchtend, dass diese Neigung von der relativen Grösse der Axen dieses Ellipsoids abhängt. Derjenige Winkel zwischen den optischen Axen, welchen die kürzeste Axe des Ellipsoids halbirt (Fig. 11, p r o oder p, r o,) wird ausgedrückt durch die Formel Tang.$^2 \frac{\gamma}{2} = \frac{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2}}{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{c^2}}$ wenn a, b, c die relativen Geschwindigkeiten in den Richtungen der 3 Axen A, B und C oder die den Radien ra, rb und rc in Fig. 9, 10, 11 entsprechenden Werthe bedeuten. In unserm Falle beträgt der Winkel 67° 24'. Wird dagegen derjenige Winkel zwischen den optischen Axen, der durch die längste Axe des Aetherdichtigkeitsellipsoids halbirt wird, berücksichtigt (Fig. 11, p r o, oder o r p,), so hat man dafür die Formel Tang.$^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{c^2}}{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2}}$. Beide Winkel machen zusammen 2 Rechte; der eine ist spitz, der andere stumpf. Wenn der spitze Winkel zwischen den optischen Axen oder, wie man ihn auch nennt, der Axenwinkel die kleinste Axe des Aetherdichtigkeitsellipsoids einschliesst, so heisst der zweiaxige Körper optisch negativ. Wird im extremen Falle die mittlere Elastizitätsaxe der grössten gleich und der Winkel zwischen den beiden optischen Axen unendlich klein, fallen also diese mit der kleinsten Axe des Ellipsoids zusammen, so ist der negativ zweiaxige Körper in einen negativ einaxigen übergegangen. Schliesst dagegen der Axenwinkel die grösste Axe des Aetherdichtigkeitsellipsoids ein, so nennt man den zweiaxigen Körper optisch positiv. Derselbe verwandelt sich, wenn die mittlere Axe des Ellipsoids der kleinsten gleich wird, in einen positiven einaxigen Crystall, indem die optischen Axen mit der längsten Elastizitätsaxe zusammenfallen. In der Mitte zwischen positiven und negativen zweiaxigen Crystallen stehen diejenigen, bei denen die beiden optischen Axen einen Winkel von 90° ausmachen. Für diesen Fall hat man die Bedingung $\frac{2}{b^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2}$.

Von dem Verhalten des Aethers im zweiaxigen Crystalle erhält man die beste Vorstellung, wenn man die auf Druck oder Zug erfolgenden Veränderungen im isotropen Glas damit vergleicht. Wenn eine Glaskugel in einer Richtung stark, in einer dazu senkrechten schwächer zusammengedrückt wird, oder wenn man sie sich in der einen Richtung comprimirt und in einer dazu rechtwinkligen expandirt denkt, so verwandelt sie sich in ein plattgedrücktes Ellipsoid, dessen 3 Axen mit ihren relativen Werthen a, b, c die Dichtigkeit und die Elastizität des Aethers ausdrücken, indem sie sich umgekehrt wie die Dichtigkeit und proportional der Elastizität verhalten. Das Elastizitätsellipsoid hat nach dieser Darstellung, wie das auch bei den einaxigen Crystallen der Fall war, eine andere Lage als nach der gewöhnlichen Annahme, indem die grösste Axe die Stelle der kleinsten einnimmt und umgekehrt.(1)

f. Depolarisation.

Das polarisirte Licht wird durch die entgegengesetzten Ursachen von denen, die ihm seine Eigenschaften gegeben haben, wieder in unpolarisirtes verwandelt. Diese Depolarisation kann durch Reflexion und durch Refraction erfolgen. Wenn polarisirtes Licht senkrecht auf eine rauhe Wand fällt, so wird es zerstreut zurückgeworfen und die Strahlen schwingen nach allen möglichen Richtungen. — Eine durchsichtige Masse, die aus zwei oder mehreren isotropen Substanzen von verschiedener Brechbarkeit in der Weise zusammengesetzt ist, dass dieselben auf kleine Distanzen unregelmässig mit einander abwechseln, depolarisirt das durchgelassene Licht, indem die Strahlen desselben in manigfaltiger Weise gebrochen und reflectirt werden. Die frische Butter besteht aus flüssigem Fett mit zahllosen microscopisch kleinen Hohlräumen, die mit Wasser gefüllt sind. Eine Schicht von 1 M. M. Dicke, auf welche polarisirtes Licht fällt, lässt nur eine geringe Menge desselben durch, die sich wie gewöhnliches Licht verhält.

---

(1) Ich mache noch besonders auf diese Abweichung von der gewöhnlichen Darstellung aufmerksam, indem hievon die Definition der positiven und negativen Crystalle und andere Angaben bedingt werden. Die mathematische Optik bedient sich zweier Ellipsoide, von denen das eine für die drei Axen die reciproken Werthe des andern annimmt; wenn in dem einen die Axen durch a, b und c ausgedrückt werden, so sind sie in dem andern $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}$ und $\frac{1}{c}$. Nach der gewöhnlichen Annahme sind die Axen des einen Ellipsoids den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in diesen Richtungen, die des andern den Elastizitäten proportional. Nach der in dem Texte festgehaltenen Annahme drückt das nämliche Ellipsoid beide Verhältnisse aus.

Es gibt ferner anisotrope durchsichtige Substanzen ohne regelmässige Structur, in denen die Schwingungsrichtungen auf sehr kleine Distanzen wechseln, in denen also, um mich so auszudrücken, die neben einander liegenden doppelbrechenden Elemente, nach allen möglichen Seiten orientirt sind. Wenn polarisirtes Licht eine solche Substanz durchdringt, so tritt es als gewöhnliches Licht heraus. Dasselbe kann zwar zum grössten Theile aus polarisirten Strahlen bestehen; da sie aber in nächster Nähe nach ungleichen Richtungen schwingen, so verhalten sie sich wie unpolarisirtes Licht.

Ein vegetabilisches Zellgewebe, dessen Zellen keine sehr regelmässige Anordnung zeigen, depolarisirt das durchgehende Licht theilweise, wenn man es mit blossem Auge oder den schwächsten Vergrösserungen betrachtet. Mit stärkern Vergrösserungen erkennt man, dass die einzelnen Partien jeder Zellwand in verschiedenen Richtungen polarisiren. Vollständiger wird das Licht depolarisirt, wenn man eine crystallinische Substanz zu feinem Pulver zerreibt und mit einer Flüssigkeit von annähernd gleichem Brechungsvermögen zu einer durchscheinenden Masse verbindet. Fein zerriebenes mit fettem Oel zu einer Salbe angerührtes Stearin entspricht diesem Zweck vollständig. Das polarisirte Licht, welches von einer Schicht von $^1/_4$ M. M. Dicke durchgelassen wird, verhält sich für das blosse Auge und für schwache Vergrösserungen wie unpolarisirtes Licht. Stärkere Vergrösserungen zeigen, dass die Lichtbündel, die von den einzelnen Stearinsplittern an der Oberfläche ausgehen, polarisirt sind. Wenn dickere Schichten der Salbe angewendet werden, so vermindern sich auch für die stärkern Vergrösserungen die polarisirten Eigenschaften des von den einzelnen Splittern herrührenden Lichtes, und verschwinden zuletzt bei einer Schichtdicke von $^1/_2$ M. M. oder etwas darüber ganz; ohne Zweifel, weil das polarisirte Licht durch zahlreiche Refraction und Reflexion dem gewöhnlichen Lichte schon sehr ähnlich geworden war, als es bei den letzten Splittern anlangte.

II. Uebertragung eines linearpolarisirten Strahls auf die zwei Schwingungsebenen eines einzelnen und zweier übereinander liegender anisotroper crystallähnlicher Körper.

In den einfachbrechenden Körpern können die Aethertheilchen der Lichtstrahlen nach allen Seiten schwingen. In den doppelbrechenden Körpern geschehen die Schwingungen nur nach 2 senkrecht aufeinander stehenden Richtungen, nämlich in denjenigen der geringsten und grössten Aetherdichtigkeit. Wenn ein Lichtstrahl bei einem doppelbrechenden Körper anlangt, so ändern sich im allgemeinen seine Schwingungsrichtungen, indem sie auf die der geringsten und grössten Aetherdichtigkeit übertragen werden. Die Welle eines polarisirten Strahles pflanzt sich dadurch fort, dass ein Aethertheilchen das folgende in homologe Oscillationen versetzt. Trifft sie auf die Oberfläche einer doppelbrechenden Substanz, so setzen die schwingenden Aethertheilchen, die sich zunachst ausserhalb derselben befinden, die Theilchen zunächst innerhalb derselben in Bewegung; aber die letztern oscilliren nach den durch die ungleiche Aetherdichtigkeit des neuen Körpers vorgeschriebenen zwei Seiten und pflanzen sich nach zwei ebenfalls durch die ungleiche Aetherelastizität bedingten Richtungen fort. Eine polarisirte Welle theilt sich also in zwei; und die zahllosen Schwingungsrichtungen des unpolarisirten Lichtes werden gleichfalls auf zwei reduzirt.

a. Bestimmung der beiden Componenten, welche in dem ersten Körper schwingen.

Die Uebertragung eines einfachen Lichtstrahles auf 2 neue Schwingungsebenen mag durch die Construction in Fig. 12 anschaulich gemacht werden. Es sei r der senkrecht zur Papierebene einfallende linearpolarisirte Strahl, a b seine Schwingungsebene, ra und rb seine Oscillationsweite; das schwingende Aethertheilchen ist eben in c angelangt. Es bezeichnet demnach (nach Pag. 8) der Bogen a d oder der Winkel ard die Schwingungsphase, der Halbmesser ra drückt die Schwingungsintensität und das Loth dc die eben erlangte Oscillationsgeschwindigkeit aus.(1) Das zwischen a und b schwingende Aethertheilchen veranlasse in der angrenzenden doppelbrechenden Substanz Schwingungen in der Richtung ef und gh; und zwar ist ohne Weiteres einleuchtend, dass während jenes von a nach b geht, diese in der Richtung von e nach f und von g nach h stattfinden, dass dagegen die Oscillation von b nach a unmittelbar die Bewegungen in der Richtung von h nach g und von f nach e nach sich zieht. Es sind diese drei Schwingungen zwar nicht vollkommen gleichzeitig; diejenigen in den Ebenen e f und gh erfolgen um ein Zeitdifferenzial später, um so viel später nämlich als die Uebertragung von einem Aethertheilchen auf das nächste an Zeit erfordert. Man kann diese Differenz in der Regel vernachlässigen und die Bewegungen in dem letzten Aethertheilchen der Schwingungsebene a b einerseits und dem ersten der Ebenen ef und gh als gleichzeitig betrachten.

Die Uebertragung geschieht nun, wie die jeder Bewegung, nach dem Parallelogramm der Kräfte. Wenn ra die Vibrationsintensität des ursprünglichen Strahles ist, so sind re, und rg, ihre Componenten auf den Ebenen ef und gh oder die Vibrationsintensitäten der beiden neuen Strahlen; dieselbe Zeitdauer, welche für eine Schwingung zwischen a und b erforderlich ist, wird für je eine Schwingung zwischen e, und f, und zwischen g, und h, verlangt; und in demselben

---

(1) Eigentlich sind diese Linien nur den Geschwindigkeiten proportionale Grössen; und es ist die Vibrationsintensität = H.ra und die Oscillationsgeschwindigkeit = H.dc, worin H einen für jede homogene Lichtart constanten Werth bezeichnet. Zur Abkürzung wurden diese Constanten weggelassen.

Momente, in welchem das in der Ebene a b sich bewegende Aethertheilchen in c angelangt ist, kommen auch die Schwingungen nach i und nach k. Gleichzeitig gehen die drei Schwingungen durch die gemeinschaftliche Gleichgewichtslage r, gleichzeitig langen sie in Ihren Ruhepunkten a, e, und g, oder in b, f, und h, an. Ihre Phasen sind also die nämlichen.

Wird die Vibrationsintensität des ursprünglichen Strahles re $=$ J gesetzt, so ist die der neuen Strahlen re, $=$ J Cos are $=$ J Sin arg und rg, $=$ J Cos arg $=$ J Sin are. Wenn der Winkel are $= 45°$, so sind die Vibrationsintensitäten der beiden neuen Strahlen einander gleich. Mit der Abnahme desselben wird J Sin are kleiner und J Cos are grösser; mit der Zunahme wächst J Sin are und J Cos are vermindert sich. Wenn are $= 0$, so wird J Sin are $= 0$ und J Cos are $=$ J; ist dagegen are $= 90°$, so wird J Sin are $=$ J und J Cos are $= 0$; d. h. wenn der ursprüngliche Strahl in der Ebene der grössten oder geringsten Aetherdichtigkeit des doppelbrechenden Mediums schwingt, so erzeugt er nur einen Strahl von gleicher Schwingungsebene und gleicher Vibrationsintensität; denn es ist einleuchtend, dass das schwingende Aethertheilchen in einer zu seiner Bewegung rechtwinkligen Richtung keine Bewegung hervorzubringen vermag.

Wenn φ die Phase des ursprünglichen Strahles bezeichnet, so ist seine Oscillationsgeschwindigkeit in einem gegebenen Momente J Sin φ; und die Oscillationsgeschwindigkeiten der beiden neuen Strahlen sind J Sin φ Cos are und J Sin φ Sin are. Denn in der citirten Figur ist das Aethertheilchen der Schwingungsebene a b in c angelangt; seine Phase (φ) entspricht dem Bogen a d und seine Oscillationsgeschwindigkeit dem Lothe d c (vd Pag. 8 und Fig. 7). Die Schwingungen der beiden neuen Strahlen kommen gleichzeitig in i und k an; ihre Phasen sind den Bogen e,l und g,m ($= \varphi$), ihre Oscillationsgeschwindigkeit den Verticalen li und mk proportional. li ist aber rl . Sin φ $=$ re, . Sin φ $=$ ra . Sin are Sin φ, und mk $=$ rm . Sin φ $=$ rg, . Sin φ $=$ ra . Cos are Sin φ.

Die Intensität eines Lichtstrahles (oder seine lebendige Kraft) ist proportional dem Quadrate der Vibrationsintensitäten. Die des ursprünglichen Strahles ist J^2, die der beiden neuen Strahlen J^2 Cos^2 are und J^2 Sin^2 are.[1] Die Lichtintensitäten der beiden neuen Strahlen zusammen genommen kommen der des ursprünglichen Strahles gleich, denn $J^2 = J^2$ Cos^2 are $+$ J^2 Sin^2 are. Wenn die beiden Bilder, die ein doppelbrechender Körper hervorbringt, übereinander gelegt werden, so haben sie die nämliche Stärke, wie das einzelne Bild, welches für den Winkel are $= 0$ oder $= 90°$ erzeugt wird.

b. Uebertragung der Componenten des ersten Körpers auf den zweiten und Interferenz der zusammenfallenden Strahlen.

Ein Lichtstrahl wird also im Allgemeinen in einem Medium von doppelter Brechung in zwei Componenten zerlegt; treten dieselben in ein neues doppel-

---

(1) Die Lichtintensität kann durch das Quadrat der Vibrationsintensität ausgedrückt werden, wenn es sich um Vergleichung verschiedener Strahlen in dem gleichen Mittel handelt. Sollen die Lichtintensitäten in verschiedenen optischen Mitteln verglichen werden, so ist für den Einfluss derselben ein Factor dem Quadrat der Vibrationsintensität beizufügen.

brechendes Medium ein, so findet abermalige Zerlegung nach dem nämlichen Prinzip statt. In das letztere dringen also 4 Strahlen ein, die dem einen ursprünglichen Strahl entsprechen. In Fig. 13 ist r der senkrecht zur Papierebene sich bewegende Strahl; in dem ersten Crystall theilt er sich in 2 Strahlen, von denen der eine (ra) zwischen a und a,, der andere (rb) zwischen b und b, schwingt. ra ist also die Schwingungsintensität des einen, rb die des andern Strahles. In dem zweiten Crystall sind CC, und DD, die Ebenen der grössten und geringsten Aetherdichtigkeit, also die Ebenen in denen die Schwingungen stattfinden. Die Schwingungsintensität ra theilt sich in die Componenten re und rd, rb theilt sich in re, und rf; mit andern Worten der Strahl ara, erzeugt zwei neue Strahlen, von denen der eine mit der Intensität re zwischen e und e, , der andere mit der Intensität rd zwischen d und d, schwingt; ebenso erzeugt der Strahl brb, einen mit der Intensität re zwischen e und e, und einen zweiten mit der Intensität rf zwischen f und f, oscillirenden Strahl. Diese Construction gibt nur die Oscillationsweite und die Schwingungsintensität der Strahlen ohne Rücksicht auf deren Phasen.

Wenn ein Strahl durch eine doppelbrechende Substanz in eine zweite ebenfalls anisotrope eintritt, so theilt er sich also in 4 Strahlen, von denen je zwei in der nämlichen Ebene schwingen. Zwei oder mehrere Strahlen, deren Schwingungsebenen zusammenfallen und welche gleiche Wellenlängen und gleiche Schwingungsdauer haben, vereinigen sich aber in einen einzigen Strahl. Der Grund ist leicht einzusehen. Es langen zwei polarisirte Strahlen (Fig. 13, ara, und brb,) an der Oberfläche eines doppelbrechenden Mediums, dessen grösste und geringste Aetherdichtigkeit in den Ebenen CC, und DD, sich befindet, an. Die letzten Aethertheilchen, die zwischen a und a, und zwischen b und b, oscilliren, bewegen die ersten Aethertheilchen des zweiten Körpers. Ein Theilchen, das in r sich befindet, würde von der Schwingung ra allein nach d, von der Schwingung rb allein nach f geführt; es wird nun aber zugleich von den Schwingungen ra und rb affizirt, und es muss daher eine Bewegung zeigen, welche der Summe der beiden Componenten (rd + rf) entspricht. Umgekehrt könnten aber auch die Schwingungen gleichzeitig von r nach a und von r nach b, erfolgen; ra hätte das Bestreben das Aethertheilchen r nach d, rb, hätte das Bestreben, es nach f, zu ziehen; die resultirende Bewegung würde der Differenz zwischen rd und rf, entsprechen. Im erstern Falle haben die beiden zusammenfallenden Componenten (rd und rf) gleiche Schwingungsphasen; im zweiten Falle beträgt der Phasenunterschied der beiden Componenten (rd und rf,) 180°. Er kann aber auch jeden beliebigen Werth zwischen 0 und 360° zeigen; und die Schwingungsintensität des resultirenden Strahles kann jede Grösse zwischen der Summe und der Differenz der Componenten annehmen.

Diese Vereinigung der in der nämlichen Schwingungsebene befindlichen Strahlen gleicher Farbe in einen einzigen ist die Interferenz. Die Construction in Fig. 8. zeigt, wie zwei Strahlen, die sich in ungleichen Schwingungsphasen befinden, interferiren. Diese zwei Strahlen bewegen sich senkrecht zur Papierebene durch den Punkt r und schwingen beide in der Ebene A A; re drückt die Schwingungsintensität des einen, rc die des andern aus. Wenn re oder rc allein vorhanden wäre, so befände sich das oscillirende Aethertheilchen in f oder n d; f und d bezeichnen also die Verschiebungen des Aethertheilchens für die beiden Strahlen, e h und c g ihre Schwingungsphasen, fh und dg die Oscillationsgeschwindigkeiten in dem gegebenen Moment (vgl. Pag. 8 und Fig. 7). Da wir die Bewegung des schwingenden Aethertheilchens durch einen Kreis ausdrücken können, so lässt sich die Geschwindigkeit und Richtung derselben in jedem Augenblick durch eine Tangente von der Länge des Radius darstellen (gg, und hh,). Diese beiden Richtungen weichen um den nämlichen Winkel von einander ab wie die entsprechenden Radien selber (rg und rh). Verändern wir in Gedanken die Richtungen um 90° und setzen statt der Tangentialkräfte gg, und hh, die Radialkräfte rg und rh, so lässt sich durch Construction die resultirende Kraft finden, welche aber wieder durch Drehung in Tangentialkraft verwandelt werden muss. Das Parallelogramm der Kräfte r g i h gibt uns also die Schwingungsintensität des resultirenden Strahls in der Linie r i; seine Phase wird durch den Bogen li und seine eben empfangene Oscillationsgeschwindigkeit durch die Linie ik ausgedrückt. Diese Oscillationsgeschwindigkeit ist gleich der Summe der Oscillationsgeschwindigkeiten der beiden interferirenden Strahlen; $ik = dg + fh$, denn $mk = dg$ und $mi = fh$. — Die Vibrationsintensität des resultirenden Strahles ist

$$rl\ (= ri) = \sqrt{(re)^2 + (rc)^2 + 2\ re . rc . \mathrm{Cos}(crg - erh)}.^{1}$$

---

(1) Es lässt sich diess durch die Rechnung beweisen, aber auch in der Figur zeigen. gn und io sind Vertikalen auf ro. Nun ist $(rl)^2 = (ri)^2 = (ro)^2 + (oi)^2 = (rn)^2 + (no)^2 + 2 . rn . no + (oi)^2$ [nach der Formel $(a + b)^2 = a^2 + 2\ ab + b^2$] $= (rg)^2\ \mathrm{Cos}^2\ gro + (no)^2 + 2 . rg . \mathrm{Cos}\ gro . no + (ih)^2\ \mathrm{Sin}^2\ iho = (rg)^2\ \mathrm{Cos}^2\ gro + (rh)^2 + 2 . rg . \mathrm{Cos}\ gro . rh + (rg)^2\ \mathrm{Sin}^2\ gro = (rg)^2 + (rh)^2 + 2 . rg . rh . \mathrm{Cos}\ gro = (rc)^2 + (re)^2 + 2 . rc . re . \mathrm{Cos}(crg - erh)$.

Die obige Formel ist allgemein; sie gilt für jeden Phasenunterschied und somit für jede Construction. Ich will, um diess deutlicher zu machen, noch ein Beispiel mit einem Phasenunterschied von mehr als 90° und weniger als 180° anführen. Von den beiden vertical zur Papierebene durch r in Fig 20 gehenden, in der Ebene A A, schwingenden Strahlen hat der eine die Vibrationsintensität re oder rh, die Oscillationsgeschwindigkeit hf und die Schwingungsphase eh. Die Vibrationsintensität des andern ist rc (= rg), seine Oscillationsgeschwindigkeit dg und seine Phase wird durch den Bogen czg ausgedrückt. Diese beiden zusammenfallenden Strahlen erzeugen einen resultirenden Strahl von der Vibrationsintensität $ri = rl$, von der Oscillationsgeschwindigkeit ik und mit der Phase li. Die Oscillationsgeschwindigkeit beträgt hier die Differenz der Oscillationsgeschwindigkeiten der beiden interferirenden Strahlen; $ik = hf - dg$, denn $ik = pf$ und $dg = ph$. — Die Vibrationsintensität des resultirenden Strahles ist

$$rl\ (= ri) = \sqrt{(re)^2 + (rc)^2 + 2 . re . rc . \mathrm{Cos}\ (crg - erh}$$

Der geometrische Beweis ist folgender. Wenn man von r auf ih die Verticale rq fällt, so ist nach einem bekannten Lehrsatze $(ir)^2 = (rh)^2 + (hi)^2 - 2 . hi . hq = (rh)^2 + (rg)^2 + 2 . rg . rh . \mathrm{Cos}\ grh$ [denn $hq = rh . \mathrm{Cos}\ rhq = - \mathrm{Cos}\ grh$, weil $\angle rhq = 180^\circ - \angle grh$] $= (re)^2 + (rc)^2 + 2 . re . rc\ \mathrm{Cos}\ (crg - crh)$. Der Ausdruck $2 . re . rc . \mathrm{Cos}\ (crg - crh)$ stellt eine negative Grösse dar, weil crg — crh zwischen 90° und 180° beträgt.

Drücken wir die Vibrationsintensität der beiden interferirenden Strahlen durch a und b (statt re und rc) und deren Phasenunterschied durch δ (statt crg — erh) aus, so erhalten wir für die Fibrationsintensität des resultirenden Strahls

$$J = \sqrt{a^2 + b^2 + 2\ a\ b\ \mathrm{Cos}\ \delta}$$

und die Lichtintensität desselben ist proportional dem Ausdrucke

$$J^2 = a^2 + b^2 + 2\ a\ b\ \mathrm{Cos}\ \delta.$$

Daraus ergeben sich folgende Resultate. Die Intensitäten des resultirenden Strahles erreichen das Maximum, wenn der Phasenunterschied der interferirenden Strahlen 0 oder 360° d. h. wenn er ganze Wellenlängen beträgt, weil dann Cos δ zur Einheit wird. Mit der Zunahme des Phasenunterschiedes bis zu 180° (von 0 bis $^1/_2$, oder von 1 bis $1^1/_2$ Wellenlängen etc.) nehmen die Intensitäten allmählig ab; bei 90° wird der Ausdruck 2 a b Cos δ Null und zwischen 90° und 180° nimmt er einen negativen Werth an; bei 180° ist die Intensität am geringsten, weil 2 a b Cos δ zu — 2 a b wird. — Sowie der Phasenunterschied der interferirenden Strahlen über 180° steigt (wenn er also zwischen $^1/_2$ und 1, $1^1/_2$ und 2 Wellenlängen beträgt etc.), so wachsen die Intensitäten bis 360°; der Ausdruck 2 a b Cos δ bleibt negativ bis 270°, wird hier Null und nimmt von 270 bis 360° steigende positive Werthe an.

Die Oscillationsgeschwindigkeit des resultirenden Strahles ist J Sin φ, wenn J die Vibrationsintensität und φ die Phase bezeichnet. Für sie besteht die Formel

$$J\ \mathrm{Sin}\ \varphi = a\ \mathrm{Sin}\ \alpha + b\ \mathrm{Sin}\ \beta,$$

worin a und b die Vibrationsintensitäten, α und β die Phasen der beiden interferirenden Strahlen ausdrücken.[1] Die resultirende Oscillationsgeschwindigkeit ist Null, wenn α und β je 0 oder 180° betragen, ebenso wenn bei gleicher Grösse von a und b der Phasenunterschied $(\alpha - \beta) = 180°$ wird, weil dann die beiden Strahlen sich aufheben. Sie erreicht ihr Maximum im positiven oder negativen Sinne, wenn α und β je 90° oder 270° betragen. Für alle andern Werthe von α und β erhält man als Oscillationsgeschwindigkeit des resultirenden Strahls bald eine Summe, bald eine Differenz und zwar mit positivem oder negativem Zeichen, je nachdem Sin α und Sin β zwischen 0 und 1 oder zwischen 0 und — 1 sich bewegen; eine Summe, wenn die beiden interferirenden Strahlen in gleicher Richtung, eine Differenz, wenn sie in entgegengesetzter Richtung schwingen.

Die Phase des resultirenden Strahles (φ) wird bedingt durch die Phasen und die Vibrationsintensitäten der interferirenden Strahlen. Für sie ergibt sich unmittelbar aus der Gleichung für die Oscillationsgeschwindigkeit die Formel

$$\mathrm{Sin}\ \varphi = \frac{a\ \mathrm{Sin}\ \alpha + b\ \mathrm{Sin}\ \beta}{J} = \frac{a\ \mathrm{Sin}\ \alpha + b\ \mathrm{Sin}\ \beta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\ a\ b\ \mathrm{Cos}\ \delta}}.$$

---

(1) Diess ist aus den Fig. 8 und 20 leicht ersichtlich. In Fig. 8 ist i k = g d + f h; i k = J Sin φ, g d = a Sin α und f h = b Sin β. In Fig. 20 ist i k = f h — g d; i k = J Sin φ, f h = b Sin β und g d = a Sin α; a Sin α hat aber einen negativen Werth, da α nach der Annahme und Construction 180° übersteigt.

φ zeigt ein constantes Verhältniss zu den Phasen der beiden interferirenden Strahlen. Dasselbe wird, wenn man die Differenz zwischen den Phasen des einen der beiden interferirenden Strahlen (a) und dem resultirenden Strahle mit γ bezeichnet durch die Formeln ausgedrückt

$$\text{Tang}\,\gamma = \frac{b\ \text{Sin}\ \delta}{a + b\ \text{Cos}\ \delta};\ \text{Sin}\,\gamma = \frac{b\ \text{Sin}\ \delta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\ a\,b\ \text{Cos}\ \delta}};$$

$$\text{Cos}\,\gamma = \frac{a + b\ \text{Cos}\ \delta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\ a\,b\ \text{Cos}\ \delta}}\ ^{1}$$

---

(1) In Fig. 16 ist A A, die Schwingungsebene; rg die Vibrationsintensität des ersten Strahles, gd seine Oscillationsgeschwindigkeit, A g seine Phase; r h die Vibrationsintensität des andern Strahles, h f seine Oscillationsgeschwindigkeit, A h seine Phase; ri die Vibrationsintensität des resultirenden Strahles, ik seine Oscillationsgeschwindigkeit, A i seine Phase. g m ist die auf r g errichtete Tangente, i n ein Loth auf die verlängerte Linie rg, ebenso ho.

$$\text{ri} : \text{rm} = \text{rn} : \text{rg};\ \text{daher rm} = \frac{\text{ri}\,.\,\text{rg}}{\text{r n}} = \frac{\text{ri}\,.\,\text{rg}}{\text{rg} + \text{ro}}.$$

$$(\text{gm})^2 = (\text{rm})^2 - (\text{rg})^2 = \frac{(\text{ri})^2\,(\text{rg})^2}{(\text{rg} + \text{ro})^2} - (\text{rg})^2$$

$$= \frac{(\text{rg})^2\,[(\text{ri})^2 - (\text{rg})^2 - (\text{rh})^2\,\text{Cos}^2\,\delta - 2\,.\,\text{rg}\,.\,\text{rh}.\ \text{Cos}\ \delta]}{(\text{rg} + \text{rh}\,.\,\text{Cos}\ \delta)^2}$$

Da $(\text{ri})^2 = (\text{rg})^2 + (\text{rh})^2 + 2.\ \text{rg}\,.\,\text{rh}\,.\,\text{Cos}\ \delta$ (vgl. Pag. 20), so ist

$$(\text{g m})^2 = (\text{r g})^2\,\frac{[(\text{rh})^2 - (\text{rh})^2\,\text{Cos}^2\,\delta]}{(\text{rg} + \text{rh}\,.\,\text{Cos}\ \delta)^2} = \frac{(\text{rg})^2\,(\text{rh})^2\,\text{Sin}^2\,\delta}{(\text{rg} + \text{rh}\ \text{Cos}\ \delta)^2}.$$

$$\text{Also}\ \ \text{g} = \frac{\text{rg}\,.\,\text{rh}\,.\,\text{Sin}\ \delta}{\text{rg} + \text{rh}\,.\,\text{Cos}\ \delta}$$

Nun ist aber $\text{gm} = \text{rg}.\ \text{Tang}\ \gamma_{,}$, ferner $\text{rg} = a$, $\text{rh} = b$; daher $\text{Tang}\ \gamma_{,} = \frac{b\ \text{Sin}\ \delta}{a + b\ \text{Cos}\ \delta.}$ $\gamma_{,}$ ist aber die Differenz zwischen der Phase des resultirenden Strahles und der des ersten interferirenden Strahles ($\gamma' = \text{Ag} - \text{Ai}$)

Man kann den Werth von $\gamma_{,}$ auch als Sinus oder Cosinus darstellen. In der angegebenen Figur ist

$$(\text{ri})^2\ \text{Sin}^2\,\gamma_{,} = (\text{ri})^2 - (\text{rn})^2 = (\text{rg})^2 + (\text{rh})^2 + 2\ \text{rg}\,.\,\text{rh}\,.\,\text{Cos}\,\delta - (\text{rg})^2 - (\text{rh})^2\,\text{Cos}^2\,\delta$$
$$- 2\,\text{rg}\,.\,\text{rh}\,.\,\text{Cos}\,\delta$$

$= (\text{rh})^2 - (\text{rh})^2\ \text{Cos}^2\ \delta = (\text{rh})^2\ \text{Sin}^2\ \delta$; daher $\text{Sin}\,\gamma_{,} = \frac{\text{rh}\ \text{Sin}\,\delta}{\text{ri}}$. Ebenso ist

$$(\text{ri})^2\ \text{Cos}^2\ \gamma = (\text{ri})^2 - (\text{in})^2 = (\text{rg})^2 + (\text{rh})^2 + 2.\text{rg}.\ \text{rh}\,.\,\text{Cos}\,\delta - (\text{rh})^2\,\text{Sin}^2\,\delta$$
$$= (\text{rg})^2 + (\text{rh})^2\ \text{Cos}^2\ \delta + 2\ \text{rg}\,.\,\text{rh}\,.\,\text{Cos}\ \delta;\ \text{daher}$$

$\text{Cos}\ \gamma_{,} = \frac{\text{rg} + \text{rh}.\ \text{Cos}\ \delta}{\text{ri}}$. Wird $\text{rg} = a$ und $\text{rh} = b$ gesetzt, so hat man

$$\text{Sin}\ \gamma_{,} = \frac{b\ \text{Sin}\ \delta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\ ab\ \text{Cos}\ \delta}}\ \text{und}\ \text{Cos}\ \gamma_{,} = \sqrt{\frac{a + b\ \text{Cos}\ \delta}{a^2 + b^2 + 2\ a\ b\ \text{Cos}\ d}}.$$

In gleicher Weise lässt sich der Phasenunterschied des zweiten interferirenden und des resultirenden Strahles ($\gamma_{,,}$ in Fig. 16 = Ai — Ah) darstellen. hp ist die auf h errichtete Tangente und qi ist mit hp parallel.

$$\text{rp} = \frac{\text{ri}\,.\,\text{rh}}{\text{rq}} = \frac{\text{ri}\,.\,\text{rh}}{\text{rh} + \text{rs}};\ (\text{hp})^2 = \frac{(\text{ri})^2\ \ (\text{rh})^2}{(\text{rh} + \text{rs})^2} - (\text{rh})^2 = \frac{(\text{ri})^2\,(\text{rh})^2 - (\text{rh})^2\,(\text{rh} + \text{rg}\,.\,\text{Cos}\,\delta)^2}{(\text{rh} + \text{rs})^2}$$

Für irgend einen aus der Rechnung sich ergebenden Werth von Sin γ, Cos γ oder Tang γ kann γ immer 2 Werthe haben; in zweifelhaften Fällen stellt sich der richtige heraus, wenn man ihn durch eine zweite Formel prüft.

Die Verschiebung des schwingenden Aethertheilchens aus der Gleichgewichtslage wird bedingt durch die Vibrationsintensität und die Phase. Für den resultirenden Strahl beträgt sie a Cos α + b Cos β; d. h. sie ist bald die Summe bald die Differenz der Verschiebungen der beiden interferirenden Strahlen, je nachdem dieselben nach der gleichen oder nach verschiedenen Richtungen von der Gleichgewichtslage abweichen.[1]

c. Bestimmung der beiden aus der Interferenz resultirenden Componenten, welche im zweiten Körper schwingen.

Nachdem ich die Interferenz zweier in der nämlichen Ebene schwingender polarisirter Lichtstrahlen näher erörtert habe, kehre ich zur Betrachtung der Er-

---

$$= \frac{(rh)^2\,[(ri)^2 - (rh)^2 - (rg)^2\,Cos^2\,\delta - 2\,rh\,rg\,.\,Cos\,\delta]}{(rh + rg\,.\,Cos\,\delta)^2}$$

$$= \frac{(rh)^2\,[(rg)^2 - (rg)^2\,Cos^2\,\delta]}{(rh + rg\,.\,Cos\,\delta)^2} = \frac{(rh)^2\,(rg)^2\,Sin^2\,\delta}{(rh + rg\,.\,Cos\,\delta)^2}.\ \text{Also}$$

$$Tang\,\gamma_{,,} = \frac{rg\,.\,Sin\,\delta}{rh + rg\,.\,Cos\,\delta} = \frac{a\,Sin\,\delta}{b + a\,Cos\,\delta}.$$

Die Formeln gelten für jeden Phasenunterschied und für jede Construction Um diess deutlich zu machen, füge ich noch einen Fall in Fig. 17 bei. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig 16. Von den beiden interferirenden Strahlen schwingt der eine von d nach r, seine Vibrationsintensität ist rg, die Phase Ag (grösser als 180°); der andere schwingt von f nach r mit der Vibrationsintensität rh und der Phase A h. Der resultirende Strahl hat die Vibrationsintensität ri, die Phase Ai (grösser als 180°); er schwingt von k nach A. Hier ist $(ri)^2\,Cos^2\,\gamma_{,} = (ri)^2 - (in)^2 = (rg)^2 + (rh)^2 + 2\,rg\,rh\,.\,Cos\,\delta - (rh)^2\,Sin^2\,\delta$ (für ri wurde der Werth eingesetzt nach Pag 20, und ferner ist $in = gi.Sin\,s. = rh\,.\,Sin\,s = -\,rh\,.\,Sin\,(180° + s) = -\,rh\,.\,Sin\,\delta = (rg)^2 + (rh)^2\,Cos^2\,\delta + 2\,rg\,.\,rh\,.\,Cos\,\delta$ Daher

$$Cos\,\gamma_{,} = \frac{rg + rh\,.\,Cos\,\delta}{ri} = \frac{a + b\,Cos\,\delta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\,a\,b\,.\,Cos\,\delta}}$$

$$Sin\,\gamma_{,} = \frac{rh\,.\,Sin\,\delta}{ri} = \frac{b\,Sin\,\delta}{\sqrt{a^2 + b^2 + 2\,a\,b\,Cos\,\delta}}.$$

$$Tang\,\gamma_{,} = \frac{rh\,.\,Sin\,\delta}{rg + rh\,.\,Cos\,\delta} = \frac{b\,Sin\,\delta}{a + b\,Cos\,\delta}.$$

(1) In Fig 8 entspricht d der Schwingung des ersten, f derjenigen des zweiten der beiden interferirenden Strahlen. Die erstere Verschiebung rd = rg Cos erg, die letztere rf = rh Cos erh. Das schwingende Aethertheilchen des resultirenden Strahles befindet sich in k; seine Verschiebung rk = rd + gm = rd + rf = rg.Cos erg + rh Cos erh. — In Fig 20 ist die Verschiebung der beiden interferirenden Strahlen − rd und + rf; und die des resultirenden Strahles − rk = − rd + dk = − rd + si = − rd + rf. Nun ist aber rd = − rg Cos erg und rf = rh.Cos erh; somit − rk = rg.Cos erg + rh.Cos erh.

scheinungen zurück, welche 2 über einander liegende Crystalle oder überhaupt doppelbrechende Körper hervorbringen. In dem ersten derselben theilt sich ein Strahl in zwei rechtwinklig zu einander polarisirte; jeder derselben theilt sich in dem zweiten wieder in zwei, so dass schliesslich aus einem Strahl 4 werden, welche paarweise in der nämlichen Ebene schwingen und daher interferiren. Es handelt sich darum die Vibrationsintensität, die Oscillationsgeschwindigkeit, die Verschiebung der schwingenden Aethertheilchen und die Phasen der beiden aus der Interferenz resultirenden Strahlen bei ihrem Eintritt in die zweite doppelbrechende Substanz zu bestimmen.

In Fig. 13 schwingt der durch den Punkt r senkrecht zur Papierebene sich fortpflanzende Lichtstrahl in den zwei Polarisationsebenen des ersten Crystalls zwischen a und a, und zwischen b und b,, wo a und b die Null- oder Ausgangspunkte der Schwingungen sind und also der Phase 0 oder 360° entsprechen. Beim Austritte aus dem ersten Crystalle und somit unmittelbar vor dem Eintritte in den zweiten ist die Schwingung des einen der polarisirten Strahlen in g, die des andern in l angelangt, mit den Schwingungsrichtungen gr und lr; die Ausweichungen sind rg und rl, die Vibrationsintensitäten ra und rb, die Phasen α (hier zwischen 0 und 90°) und β (zwischen 180° und 270°), die Oscillationsgeschwindigkeiten ra . Sin α und rb . Sin β (ra . Sin α stellt in dem vorliegenden Falle einen positiven, rb . Sin β einen negativen Werth dar.

Beim Eintritt in den zweiten Crystall wird der Strahl ra in rc und rd, rb in re, und rf zerlegt. Zwei schwingen in der Ebene CC,, wo der Ausgangspunkt der Oscillationen auf der Seite von C liegen mag: der eine von g übertragene mit der Vibrationsintensität rc, mit der Ausweichung rh und mit der Phase α, der andere von l übertragene mit der Vibrationsintensität re, mit der Ausweichung rn und der Phase $\beta + 180°$ (denn β beträgt zwischen 180° und 270°; auf CC, übertragen befindet sich die Schwingung n im ersten Quadranten). Beide in der Ebene CC, schwingende Strahlen bewegen sich in dem Moment, den die Figur darstellt, in der gleichen Richtung; ihr Phasenunterschied ist $\alpha - \beta \pm 180°$. Der aus ihrer Interferenz resultirende Strahl hat die Vibrationsintensität

$$J, = \sqrt{(rc)^2 + (re)^2 + 2\ rc . re\ \mathrm{Cos}\ (\alpha - \beta + 180°)}$$

Die Verschiebung des resultirenden Strahles $z, = rh + rn = rc . \mathrm{Cos}\,\alpha + re . \mathrm{Cos}\,(\beta \pm 180°)$. Seine Oscillationsgeschwindigkeit $\omega, = rc . \mathrm{Sin}\,\alpha + re . \mathrm{Sin}\,\beta \pm 180°)$. Da die beiden Strahlen sich in gleicher Richtung bewegen, so addirt sich ihre Geschwindigkeit; der zweite Ausdruck ist aber positiv, weil $\beta > 180°$. Für die Differenz (γ) zwischen der Phase des resultirenden und derjenigen eines der beiden interferirenden Strahlen bestehen die Formeln

$$\mathrm{Sin}\,\gamma = \frac{re . \mathrm{Sin}\ (\alpha - \beta \pm 180°)}{J,} \text{ und } \mathrm{Cos}\,\gamma = \frac{rc + re . \mathrm{Cos}\ (a - \beta \pm 180°)}{J,}.$$

Zwei andere Strahlen schwingen in der Ebene DD,, in welcher der Anfang der Oscillationen auf der Seite von D liegen soll: der eine von g übertragene mit der Vibrationsintensität rd, mit der Ausweichung ri und der Phase α, der andere von l übertragene mit der Schwingungsintensität rd, mit der Ausweichung rm und der Phase β (in dem vorliegenden Falle beide mit ungleichen Schwingungsrichtungen). Indem sie interferiren, erzeugen sie einen Strahl mit der Vibrationsintensität

$$J_{,,} = \sqrt{(\mathrm{rd})^2 + (\mathrm{rf})^2 + 2\,\mathrm{rd}.\mathrm{rf}.\mathrm{Cos}\,(\alpha - \beta)}$$

Die Verschiebung des resultirenden Strahles $z_{,,} = \mathrm{ri} - \mathrm{rm} = \mathrm{rd}\,.\,\mathrm{Cos}\,\alpha + \mathrm{rf}\,.\,\mathrm{Cos}\,\beta$ (da β zwischen 180° und 360° beträgt, wird der zweite Ausdruck durch Cos β negativ). Seine Oscillationsgeschwindigkeit $\omega_{,,} = \mathrm{rd}\,.\,\mathrm{Sin}\,\alpha + \mathrm{rf}\,.\,\mathrm{Sin}\,\beta$; die beiden interferirenden Strahlen schwingen in entgegengesetzter Richtung, heben sich also theilweise auf; da β grösser als 180° ist, so wird durch Sin β der zweite Ausdruck negativ. Für den Phasenunterschied (ϑ) zwischen dem resultirenden und einem der interferirenden Strahlen gelten die Formeln

$$\mathrm{Sin}\,\vartheta = \frac{\mathrm{rf}\,.\,\mathrm{Sin}\,(\alpha - \beta)}{J_{,,}} \text{ und } \mathrm{Cos}\,\vartheta = \frac{\mathrm{rd} + \mathrm{rf}.\mathrm{Cos}\,(\alpha - \beta).}{J_{,,}}$$ [1]

---

(1) Diese Formeln gehen unmittelbar aus den früher abgeleiteten hervor. Da aber die Uebertragung der aus einem doppelbrechenden Körper austretenden polarisirten Strahlen auf einen andern doppelbrechenden Körper eine der wichtigsten Erscheinungen bei der Untersuchung mit dem polarisirten Lichte ist, so will ich dieselbe noch an einer besondern Construction anschaulich machen. In Fig. 15 sind ara, und brb, die beiden im ersten Crystalle schwingenden polarisirten Strahlen, a und b die Ausgangspunkte der einzelnen Schwingungen. Das zwischen a und a, schwingende Aethertheilchen ist in g angelangt und geht nach a; seine Verschiebung ist rg, seine Phase aa,g, (zwischen 270° und 360°) Die Oscillation zwischen b und b, befindet sich in l und bewegt sich nach r; die Verschiebung ist rl, die Phase bb,l, (zwischen 180° und 270°). Der Strahl ara, erzeugt, auf die Schwingungsebenen des zweiten Crystalles CC, und DD, übertragen, die Strahlen crc, und drd, mit den Vibrationsintensitäten rc und rd; brb, erzeugt ere, und frf, mit den Schwingungsintensitäten re und rf. Die Ausgangspunkte auf der Axe CC, sind c und e, auf der Axe DD, dagegen d und f. Da die Schwingung ara, von g nach a geht, so muss gleichzeitig das zwischen c und c, schwingende Aethertheilchen von h nach c, das zwischen d und d sich bewegende von i nach d gehen; ebenso hat die von l nach r gehende Schwingung brb zur Folge, dass die Oscillation ere, von n nach r, die Schwingung drd, von m nach r sich bewegt. Wir haben also in der Ebene CC, zwei Strahlen, den einen mit der Oscillationsweite rc, mit der Verschiebung rh und mit der Phase cc,h,; den andern mit der Oscillationsweite re, mit der Verschiebung rn und mit der Phase en,. Es ist aber die Phase cc,h, gleich aa,g, (der Phase des erzeugenden Strahls ara,), und die Phase en, gleich bb,l, — 180° (der Phase des erzeugenden Strahls brb, weniger 180°). Von den zwei in der Ebene DD, oscillirenden Strahlen hat der eine die Oscillationsweite rd, die Verschiebung ri und die Phase dd,i,; der andere die Oscillationsweite rf, die Verschiebung rm und die Phase ff,m,. Nun ist aber dd,i = aa,g, und ff,m, = bb,l, d. h. die Phasen der beiden Strahlen stimmen mit denjenigen der sie erzeugenden Strahlen überein.

Von den 4 Componenten, in die sich die zwei ursprünglichen Strahlen theilen, haben also drei mit denselben gleiche Phasen, indess der vierte um 180° voraus oder zurück ist Es ist leicht einzusehen, dass diess immer so sein muss. Während der Strahl ara, von a nach a, schwingt, schwingen die beiden Componenten gleichzeitig von c nach c, und von d nach d,. Nimmt man als Ausgangspunkte der Schwingungen a, c und d, so sind die Phasen der drei Strahlen die nämlichen. Gleichzeitig mit der Schwingung brb, von b nach b, erfolgen die Oscillationen der beiden Componenten von f nach f, und von e, nach e: der Strahl frf, hat die gleiche Phase mit brb,, denn die Schwingungen gehen mit einander von

Bezeichnen wir die Vibrationsintensitäten der beiden ursprünglichen aus dem untern Crystall austretenden Strahlen ra und rb durch a und b und den Winkel,

---

den Ausgangspunkten b und f aus; was dagegen den Strahl ere, betrifft, so gehen zu eben derselben Zeit seine Oscillationen nicht von dem Ausgangspunkte e, sondern von dem gegenüberliegenden (um 180° entfernten) Punkte e, aus; seine Phase ist also gleich der Phase des erzeugenden Strahls + 180°. — Es leuchtet ein, dass wenn man auf den 4 Axen aa,. bb,, CC, und DD, nach Belieben die Ausgangspunkte für die Schwingungen anders bestimmte, dann auch jede andere der 4 Componenten in ihrer Phase von dem erzeugenden Strahl um 180° differiren könnte; aber es wäre immer nur eine, indess die andern drei die Phasen der erzeugenden Strahlen behalten. — Es folgt aus dieser Erörterung, dass wenn man die Phasen der beiden ursprünglichen Strahlen mit α und β bezeichnet, der Phasenunterschied in der einen der neuen Schwingungsebenen $\alpha - \beta$, in der andern $\alpha - \beta \pm 180^\circ$ beträgt.

Das Parallelogramm rn,sh. gibt (in gleicher Weise wie Fig. 8) für den aus den beiden Componenten rn und rh resultirenden Strahl die Vibrationsintensität rs und die Phase in dem Abstande s von der Axe CC,. Ein Loth von s auf CC, würde das Maass für die Oscillationsgeschwindigkeit und der Abstand des Fusspunktes von dem Centrum r die Verschiebung angeben. — Das Parallelogramm ri,tm, stellt für die aus den Componenten ri und rm Resultirende die Vibrationsintensität als rt dar, und ihre Phase wird durch den Bogen zwischen der Axe DD, und dem Punkte t ausgedrückt. Ein Loth von t auf DD, würde die Oscillationsgeschwindigkeit, und die Entfernung seines Fusspunktes von dem Mittelpunkte r würde die Verschiebung anzeigen.

Die Oscillationsgeschwindigkeiten der beiden resultirenden Strahlen ($\omega_{,}$ und $\omega_{,,}$) werden immer in der einen Schwingungsebene durch die Summe der Oscillationsgeschwindigkeiten der beiden Componenten, in der andern Schwingungsebene durch die Differenz dargestellt. In Fig. 15 schwingen n und h in entgegengesetzter, m und i in gleicher Richtung; nach kurzer Zeit werden aber h und i an ihrem Ruhepunkt anlangen und umkehren; dann werden h und n in der gleichen, i und m in entgegengesetzter Richtung sich bewegen. Die Oscillationsgeschwindigkeiten sind

$$\omega_{,} = re\,.\,\mathrm{Sin}\;\alpha + re\,.\,\mathrm{Sin}\;(\beta \pm 180^\circ) \text{ und } \omega_{,,} = rd\,.\,\mathrm{Sin}\;\alpha + rf\,.\,\mathrm{Sin}\;\beta.$$

Diese Formeln haben allgemeine Giltigkeit. Was zuerst $\omega_{,}$ betrifft, so ist klar, dass die Componente des ersten Strahls, welche zwischen c und c, schwingt, eine positive Bewegung zeigt (in der Richtung von C nach C,), so lange die Phase (α) zwischen 0 und 180° bleibt, von 180° bis 360° aber negativ wird; im erstern Fall stellt aber der Sinus einen positiven, im zweiten einen negativen Werth dar. Umgekehrt verhält es sich mit der Componente des zweiten Strahls, die zwischen e und e, hin und hergeht. Sie hat eine negative Bewegung (von C, nach C), so lange der erzeugende Strahl von b nach b, schwingt, so lange seine Phase zwischen 0 und 180° beträgt; von 180° bis 360° wird die Bewegung positiv. $\omega_{,}$ ist eine Differenz, wenn α und β beide kleiner oder grösser als 180°, eine Summe, wenn von α und β das eine kleiner das andere grösser als 180° ist. — In der Ebene DD, dagegen stimmen die Bewegungen der beiden interferirenden Strahlen überein, wenn sie in gleichen Phasen sich befinden; denn während die erzeugenden Strahlen von a nach a, und von b nach b, gehen, d. h. so lange ihre Phasen zwischen 0 und 180° betragen, schwingen ihre Componenten von d nach d, und von f nach f, also in gleicher Richtung. Daher bilden in der zweiten Gleichung (für $\omega_{,,}$) die beiden Ausdrücke eine Summe, so lange α und β beide unter oder über 180° betragen, eine Differenz wenn von α und β das eine mehr das andere weniger als 180° werth ist.

Mit den Verschiebungen der beiden resultirenden Strahlen verhält es sich ähnlich wie mit den Oscillationsgeschwindigkeiten; sie sind immer in der einen Schwingungsebene gleich welchen die Schwingungsebene CC, mit aa, auf der Anfangsseite (bei C und a) bildet, mit ε, so ist $rc = a \operatorname{Cos} \varepsilon$, $re = b \operatorname{Sin} \varepsilon$, $rd = a \operatorname{Sin} \varepsilon$ und $rf = b \operatorname{Cos} \varepsilon$. Man hat also für die Vibrationsintensitäten statt

$$J_{,} = \sqrt{(rc)^2 + (re)^2 + 2\, rc \,.\, re \,.\, \operatorname{Cos} (\alpha - \beta \pm 180^\circ)} \text{ und}$$

$$J_{,,} = \sqrt{(rd)^2 + (rf)^2 + 2\, rd \,.\, rf \,.\, \operatorname{Cos} (\alpha - \beta)}$$

$$J_{,} = \sqrt{a^2 \operatorname{Cos}^2 \varepsilon + b^2 \operatorname{Sin}^2 \varepsilon - 2\, a\, b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \delta}$$

$$J_{,,} = \sqrt{a^2 \operatorname{Sin}^2 \varepsilon + b^2 \operatorname{Cos}^2 \varepsilon + 2\, a\, b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \delta}$$

Die Phasendifferenz zwischen dem resultirenden Strahl mit der Vibrationsintensität $J_{,}$ und derjenigen seiner beiden Componenten, welcher die Vibrationsintensität $a \operatorname{Cos} \varepsilon$ entspricht, wird durch die Formeln ausgedrückt

$$\operatorname{Sin} \gamma = \frac{- b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \delta}{J_{,}} \text{ und } \operatorname{Cos} \gamma = \frac{a \operatorname{Cos} \varepsilon - b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \delta}{J_{,}}$$

Für den Phasenunterschied zwischen den durch $J_{,,}$ und $a \operatorname{Sin} \varepsilon$ bezeichneten Strahlen hat man

$$\operatorname{Sin} \vartheta = \frac{b \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Sin} \delta}{J_{,,}} \text{ und } \operatorname{Cos} \vartheta = \frac{a \operatorname{Sin} \varepsilon + b \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \delta}{J_{,,}}$$

Die Oscillationsgeschwindigkeit des Strahles $J_{,}$ ist $a \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Sin} \alpha - b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \beta$, diejenige des Strahles $J_{,,}$ ist $a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \alpha + b \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Sin} \beta$. Die Verschiebung des erstern ist $a \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \alpha - b \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \beta$, die des zweiten $a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \alpha + b \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \beta$.

III. Polarisationsmicroscop.

Die Einrichtung der Polarisationsapparate ist aus jedem Handbuch der Physik bekannt. Der für das Microscop anwendbare Apparat muss die beiden Bedingungen erfüllen, dass die Lichtstrahlen, welche auf das zu beobachtende Object fallen, in einer Ebene polarisirt sind, und dass sie, nachdem sie durch das Object hindurchgegangen, in zwei rechtwinklig sich schneidende Schwingungsebenen zerlegt und nur die in einer Ebene oscillirenden zum Auge gelassen werden. Zu dem Ende bedient man sich gewöhnlich zweier Nicol'scher Prismen. Dieselben bestehen aus 2 in der Art geschliffenen und vermittelst Canadabalsam auf einander befestigten Kalkspathstücken, dass die ordinären Strahlen an der Balsamschicht eine totale Reflexion erleiden und seitlich aus dem Prisma heraustreten; die extraordinären Strahlen, welche

---

der Summe, in der andern gleich der Differenz der Verschiebungen der beiden Componenten. Man hat dafür die Formeln

$$z_{,} = rc \,.\, \operatorname{Cos} \alpha + re \operatorname{Cos} (\beta \pm 180^0) \text{ und } z_{,,} = rd \,.\, \operatorname{Cos} \alpha + rf \,.\, \operatorname{Cos} \beta.$$

Wenn a und b sich beide entweder im ersten und vierten oder im zweiten und dritten Quadranten der Schwingung befinden, so ist $z_{,,}$ eine Summe, $z_{,}$ eine Differenz. Umgekehrt verhält es sich, wenn von a und b der eine Strahl sich im ersten oder vierten, der andere im zweiten oder dritten Quadranten der Schwingung befindet als die schwächer gebrochenen an der Balsamschicht einen grössern Einfallswinkel haben, gehen durch dieselbe hindurch und verlassen das Prisma in einer mit den eintretenden Strahlen parallelen Richtung. Ein solches Nicol'sches Prisma wird über dem Beleuchtungsspiegel als Polarisator angebracht, ein anderes über dem Ocular als Analysator. Statt des letztern wendet man auch zweckmässig ein gewöhnliches (einfaches) Kalkspathprisma an, welches den Vortheil gewährt, dass man nach Belieben entweder das ordinäre oder das extraordinäre Bild allein oder beide neben einander beobachten kann.

Bei der Anwendung des Polarisationsapparates geht immer viel Licht verloren; im untern Prisma wird die Hälfte der Strahlen (die ordinären nämlich) entfernt, ausser derjenigen Partie, welche die Absorption vernichtet; in besondern Fällen (nämlich bei der später zu erörternden Anwendung dünner Crystallplättchen) wird die übrig bleibende Hälfte der Strahlen im obern oder Zerlegungsprisma noch einmal in zwei Partien getheilt. Jedes der beiden Bilder hat also im allgemeinen kaum die Hälfte oder kaum den vierten Theil der Lichtstärke, den das microscopische Bild ohne Polarisationsapparat haben würde.

Um diesem Uebelstande zu begegnen hat Mohl (Pogg. Ann. CVIII p. 178) eine zweckmässige Vorrichtung getroffen; er bringt unter dem Objecte einen achromatischen aus 3 Linsen bestehenden Condensator von etwa drei Linien Brennweite und grossem Oeffnungswinkel an. Das aus dem Polarisator austretende Licht wird dadurch stark concentrirt; es wird aber zugleich das Gesichtsfeld in entsprechendem Maasse verkleinert und es ist desshalb wünschbar, dass das Prisma möglichst gross sei. Dasselbe sollte einen Querdurchmesser von 10 bis 12 Linien haben. Ausserdem muss dem Objecte so viel Licht als möglich zugeführt werden, was z. B. auch dadurch geschieht, dass man den Beleuchtungsspiegel durch ein Glasprisma ersetzt, dessen Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist und das eine Länge und Breite von 15 bis 18 Linien hat. Das am meisten energische Mittel aber besteht darin, dass man direktes Sonnenlicht in derselben Weise wie beim Sonnenmicroscop anwendet. Es versteht sich überdem, dass die lichtstarken Objective die besten sind, und dass die schwächsten Objective die deutlichsten Bilder geben.

Auch muss berücksichtiget werden, dass bei Anwendung eines Beleuchtungsspiegels, die Stellung des polarisirenden Nicols nicht ganz gleichgültig ist. Das von dem Spiegel kommende Licht enthält nämlich schon eine gewisse Menge polarisirter Strahlen, und zwar um so mehr, je mehr sich der Einfallswinkel 56¾° nähert (vgl. Pag. 9). Diese polarisirten Strahlen werden nicht zerlegt, wenn eine der beiden Schwingungsebenen des Kalkspaths mit ihrer eigenen Schwingungsebene zusammentrifft. Wird das Prisma so gestellt, dass die Schwingungsebene der ordinären Strahlen mit derjenigen der einfallenden polarisirten Strahlen parallel ist, so gehen die letztern vollständig verloren. Dreht man es aber so, dass die Schwingungsebene der extraordinären Strahlen mit derjenigen des einfallenden polarisirten Lichtes übereinstimmt, so gelangt dasselbe vollständig durch das Prisma hindurch ins Gesichtsfeld. Die Polarisationsebene der vom Spiegel kommenden Strahlen geht durch die Einfallsrichtung des aufgefangenen Lichtes und die Axe des Microscops. Die Polarisationsebene der ordinären Strahlen im Prisma geht durch den Hauptschnitt; in dem letzteren befindet sich aber der kürzere Durchmesser der rhombischen Endfläche. Da nun bloss die extraordinären senkrecht auf den Hauptschnitt polarisirten Strahlen das Nicol'sche Prisma durchbrechen, so erhält man die grösste Lichtstärke, wenn der grössere Durchmesser seiner rhombischen Endfläche mit der Einfallsebene der den Spiegel treffenden Lichtstrahlen parallel ist, wenn also bei gewöhnlicher Spiegelstellung die schiefe Endfläche nach rechts oder links (nicht nach hinten oder vorn) geneigt ist.

Die Strahlen, welche aus dem untern oder polarisirenden Prisma heraustreten, schwingen alle in einer Ebene. In dem obern oder analysirenden Prisma werden sie wieder zerlegt, und ein Theil derselben entweder (wenn es ein Nicol ist) durch totale Reflexion entfernt, oder aber in ein zweites (complementäres) Bild vereinigt. Ich will für die Folge das letztere in der Regel vernachlässigen und nur die eine Schwingungsebene des obern Prisma's berücksichtigen. Sind die Schwingungsebenen im Polarisator und im Analysator parallel, so gehen die Strahlen vollständig durch den letztern; das Gesichtsfeld ist hell, als ob derselbe nicht da wäre (dagegen ist das Gesichtsfeld des complementären Bildes dunkel). Kreuzen sich die Schwingungsebenen des untern und des obern Prisma's, so lässt das letztere kein Licht hindurchgehen und das Gesichtsfeld ist dunkel (während dasjenige des complementären Bildes erleuchtet ist). Dreht man bei feststehendem Polarisator den Analysator, so dass die parallele Lage in die gekreuzte übergeht, so wird das Gesichtsfeld allmälig verdunkelt (indess das complementäre Bild in gleichem Grade erhellt wird). Wenn die Intensität des von dem untern Nicol gelieferten Lichtes J^2 ist, so beträgt die Helligkeit des Bildes, welches das obere Prisma gibt, $J^2 \mathrm{Sin}^2 \varepsilon$. (Ist auch das complementäre Bild sichtbar, so wird seine Lichtstärke durch $J^2 \mathrm{Cos}^2 \varepsilon$ ausgedrückt). ε ist der Winkel, den die Schwingungsebenen der beiden Prismen mit einander bilden (Pag. 18).

Befindet sich im Gesichtsfeld des Microscops ein Körper aus einer einfachbrechenden Substanz, so verhält er sich, da er die vom Polarisator kommenden Strahlen unverändert durchgehen lässt, genau wie das Gesichtsfeld selber. Mit diesem wird er beim Drehen des Analysators heller und dunkler. Bei gekreuzter Stellung der beiden Prismen ist er unsichtbar, d. h. dunkel wie das ganze übrige Gesichtsfeld, mag man ihn durch Drehen um seine verticale Axe in irgend eine Lage bringen. Anders verhält sich ein doppelbrechender Körper, vorausgesetzt, dass nicht etwa die optische Axe senkrecht stehe; denn in diesem Falle unterscheidet er sich nicht von dem einfachbrechenden.

IV. Ein einzelner anisotroper crystallähnlicher Körper, mit homogenem Lichte beobachtet.

Die Frage, wie sich ein anisotroper Körper verhalte, wenn der Analysator gedreht wird, ist complicirt und ihre Beantwortung ohne praktischen Nutzen. Nur die Erscheinungen, die er bei rechtwinkliger Stellung der Polarisationsprismen darbietet, gewähren ein Interesse. Diese gekreuzte Lage von Polarisator und Analysator, die während der Untersuchung unveränderlich bleibt, werde ich in der Folge auch immer voraussetzen, ohne sie besonders zu erwähnen. Wird unter der eben genannten Bedingung ein doppelbrechender Körper um seinen senkrechten Durchmesser gedreht, so zeigt er sich bald dunkel, bald hell.

Um die Erscheinungen genau zu studiren, ist es, wo nicht unumgänglich nothwendig doch sehr fördernd, wenn auf dem Objecttisch des Microscops eine drehbare Scheibe angebracht wird. Dadurch ist man im Stande, den zu beobachtenden Gegenstand in jede beliebige Winkelstellung zu den Schwingungsebenen der beiden Prismen zu bringen. Viele der neuern Microscope haben einen drehbaren Tisch. Mit demselben dreht sich aber meistens zugleich die Röhre, welche die Objectiv- und Ocularlinsen und somit auch den Analysator trägt. Letzterer soll aber unbeweglich bleiben. Man kann ihn mit der einen Hand fest halten, indess man mit der andern den Tisch dreht; allein diess Verfahren ermangelt für subtilere Fälle der nöthigen Präcision, indem der Analysator kleine Schwankungen erleidet. Viel zweckmässiger ist es, den letzteren auf irgend eine Weise (z. B. durch einen Stab) mit dem Stativ fest zu verbinden, so dass er, wenn Tisch und Röhre sich drehen, unverrückt bleibt. Indessen ist auch hier noch ein Fehler möglich; die Erfahrung hat mir gezeigt, dass die Linsen selbst sich zum polarisirten Lichte in ungleichen Stellungen ungleich verhalten können. Wie sich in der Folge ergeben wird, verändert ein doppelbrechender Körper seine Farbe, wenn man ihn im Polarisationsapparat auf einem Crystallplättchen um seine verticale Axe dreht. Eine leichte Farbenmodification kann aber auch schon durch Drehen des Microscoptubus allein erfolgen; sie muss, wenn sich dieser mit dem Objecte dreht, auf die Farbennüancen des letztern einwirken.

Desswegen ist es das einzig vollkommen Zweckdienliche, wenn sich der Tisch des Microscops allein dreht oder wenn auf demselben sich eine drehbare Scheibe befindet. Noch ist aber beizufügen, dass wegen der Kleinheit des Gesichtsfeldes im Polarisationsmicroscop eine höchst genaue Centrirung der Scheibe erheischt wird.

Dreht man nun den doppelbrechenden Körper in der angegebenen Weise, so gelangt man zu einem Punkt, wo er dunkel wird, wie eine einfachbrechende Substanz; und diess wiederholt sich bei fortgesetztem Drehen immer, nachdem man 90° zurückgelegt hat. Man hat also 4 Lagen der Verfinsterung. In der Substanz mit doppelter Brechung gibt es (mit Ausnahme der optischen Axen) für jeden Durchgang der Lichtstrahlen zwei rechtwinklig zu einander gestellte Schwingungsebenen von ungleicher Natur. Wenn nun diese Schwingungsebenen mit derjenigen der beiden Prismen zusammentreffen, so gelangt kein Licht in das Auge des Beobachters; denn die durch das untere Prisma polarisirten Strahlen gehen unzerlegt durch die entsprechende Schwingungsebene des doppelbrechenden Körpers und kommen also mit der nämlichen Schwingungsrichtung, als ob er nicht da wäre, zum analysirenden Prisma, wo sie vollständig verschwinden. Hat aber der Körper irgend eine andere Lage und bilden seine Schwingungsebenen irgend einen Winkel zwischen 0 und 90° mit denen der beiden Prismen, so findet eine Zerlegung der vom untern Prisma kommenden Strahlen statt, indem sie auf die

Schwingungsebenen des Körpers übertragen werden. Die aus dem letztern heraustretenden Strahlen sind doppelter Art, und oscilliren in zwei zu einander rechtwinkligen Richtungen. Die einen und die andern werden im obern Prisma abermals zerlegt und auf dessen Schwingungsebenen reduzirt, so dass in jeder derselben Strahlen von doppeltem Ursprunge anlangen und mit einander interferiren. Die Strahlen der einen Schwingungsebene werden entfernt, die andern gehen in das Auge des Beobachters und zeigen den doppelbrechenden Körper mehr oder weniger erhellt.

a. Veränderung der Lichtintensität, wenn der Körper um seine verticale Axe gedreht wird.

Um die Sache deutlich zu machen, wollen wir einen einfachen Strahl vom untern bis zum obern Prisma verfolgen; in Fig. 14 steigt er in r senkrecht zur Papierebene empor. A A, ist die Schwingungsebene des Polarisators, B B, die des Analysators; C C, und D D, die des doppelbrechenden Objects; ε der Winkel, den B B, mit C C, oder A A, mit D D, bildet. Der Strahl r, der vom untern Prisma kommt, schwingt also in der Richtung A A,; ra sei seine Vibrationsintensität. Indem er auf die Ebenen C C, und D D, des Objectes übertragen wird, schwingen seine beiden Componenten daselbst mit den Vibrationsintensitäten rc und rd; $rc = ra \,.\, \mathrm{Sin}\,\varepsilon$ und $rd = ra \,.\, \mathrm{Cos}\,\varepsilon$. Im obern Prisma wird rc in rg und re, rd in rf und rh zerlegt. In der Fbene A A, schwingen und interferiren 2 Strahlen mit den Vibrationsintensitäten re und rf, in der Ebene B B, dagegen rg und rh. Nun ist $re = rc \,.\, \mathrm{Sin}\,\varepsilon = ra \,.\, \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon$; $rf = rd \,.\, \mathrm{Cos}\,\varepsilon = ra \,.\, \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon$; $rg = rc \,.\, \mathrm{Cos}\,\varepsilon = ra \,.\, \mathrm{Sin}\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\varepsilon$; $rh = rd \,.\, \mathrm{Sin}\,\varepsilon = ra \,.\, \mathrm{Cos}\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}\,\varepsilon$. Wenn der Strahl r in das doppelbrechende Object eintritt, so befinden sich seine Componenten anfangs in der nämlichen Phase; da sie sich aber mit ungleicher Schnelligkeit bewegen, so treten sie mit ungleichen Phasen heraus und werden mit denselben auf die Schwingungsebenen des obern Prisma's übertragen. Es sei C C, die Ebene, in welcher die Strahlen sich langsamer fortpflanzen. Der Ausgangspunkt der Schwingungen des vom untern Prisma kommenden Strahls liege auf der Seite von A und dem entsprechend auf der Seite von C und D. Die Componente mit der Vibrationsintensität rd befinde sich beim Austritte aus dem doppelbrechenden Körper in der Phase α, und die Componente rc in der Phase $\alpha + \delta$. Die Phase von re oder $\varphi\,(re) = \varphi\,(rc)$ und $\varphi\,(rf) = \varphi\,(rd)$, wenn für re und rf der Phasennullpunkt wieder auf der Seite von A angenommen wird. Ebenso $\varphi\,(rg) = \varphi\,(rc)$, wenn der Ausgangspunkt auf der Seite von B und $\varphi\,(rh) = \varphi\,(rd)$, wenn derselbe auf der Seite von B, liegt. Da aber für die Interferenz der beiden Strahlen rg und rh der Nullpunkt ihrer Oscillationen auf die gleiche Seite verlegt werden muss, so ändert der eine derselben seine Phase um 180°. Es ist daher $\varphi\,(rc) = \alpha + \delta$ und $\varphi\,(rf) = \alpha$, die Differenz $= \delta$; ferner $\varphi\,(rg) = \alpha + \delta$ und $\varphi\,(rh) = \alpha \pm 180°$, der Phasenunterschied $= \delta \pm 180°$.

Der aus der Interferenz von re und rf resultirende Strahl hat die Vibrationsintensität (vgl. Pag. 24 und 27)

$$K = \sqrt{(re)^2 + (rf)^2 + 2\ re.rf.\operatorname{Cos}\delta}$$

$$= \sqrt{a^2\ \operatorname{Sin}^4\varepsilon + a^2\ \operatorname{Cos}^4\varepsilon + 2\ a^2\ \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\ \delta}$$

Dieser Strahl wird in dem obern Prisma entfernt oder fällt in das complementäre Bild. Der aus der Interferenz von rg und rh resultirende Strahl hat die Vibrationsintensität

$$J = \sqrt{(rg)^2 + (rh)^2 + 2\ .\ rg\ .\ rh\ .\ \operatorname{Cos}\ (\delta + 180^\circ)}$$

$$= \sqrt{2\ a^2\ \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon - 2\ a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\ \delta;} \qquad \text{also}$$

$$J = \sqrt{2\ a^2\ \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ [1 - \operatorname{Cos}\ \delta]}\ ^{1)}$$

und die Lichtintensität entspricht dem relativen Werthe

$$J^2 = 2\ a^2\ \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ [1 - \operatorname{Cos}\ \delta].$$

Dieser letztere Strahl kommt bei der Untersuchung einzig in Betracht[2]. Wenn man homogenes (rothes, gelbes, grünes etc) Licht anwendet, dessen Strahlen die gleiche Oscillationsdauer und in einem Medium von gleicher Aetherdich-

---

(1) Diese Formeln gelten nicht bloss für den besondern in der Construction gegebenen Fall, sondern für alle Stellungen der Schwingungsebenen also für alle Werthe von ε. Es ist sogleich deutlich, dass, wenn ε zwischen 0 und 90° ändert, alle Ausdrücke dieselbe Form behalten. Wenn aber $\varepsilon > 90^\circ$, so werden die Cosinus negativ, indess die Sinus positiv bleiben. In Fig. 26 ist der Winkel zwischen der Abszissenaxe B B, und der langsamern Fortpflanzungsebene CC, grösser als ein rechter ($\varepsilon > 90^\circ$). $rc = ra.\operatorname{Cos}(\varepsilon - 90^\circ) = ra.\operatorname{Sin}\varepsilon$ und $rd = ra.\operatorname{Sin}(\varepsilon - 90^\circ) = ra.\operatorname{Cos}\varepsilon$ Ferner $re = rc.\operatorname{Cos}(\varepsilon - 90^\circ) = ra.\operatorname{Sin}^2\varepsilon$; $rg = rc.\operatorname{Cos}(180^\circ - \varepsilon) = -rc.\operatorname{Cos}\varepsilon = -ra.\operatorname{Sin}\varepsilon\ \operatorname{Cos}\varepsilon$; $rf = rd.\operatorname{Sin}(\varepsilon - 90^\circ) = ra.\operatorname{Cos}^2\varepsilon$; $rh = rd.\operatorname{Cos}(\varepsilon - 90^\circ) = -ra.\operatorname{Cos}\varepsilon\ \operatorname{Sin}\varepsilon$. Die Phase von $re = \varphi\ (re) = \alpha + \delta$ und $\varphi\ (rf) = \alpha$; Phasenunterschied $= \delta$. Ferner $\varphi\ (rg) = \alpha + \delta \pm 180^\circ$ und $\varphi\ (rh) = \alpha$ (wenn der Nullpunkt der Schwingungen in B angenommen wird); demnach die Differenz $= \delta + 180^\circ$. Daraus folgt

$$K^2 = a^2 \operatorname{Sin}^4\varepsilon + a^2 \operatorname{Cos}^4\varepsilon + 2\ a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\delta \text{ und}$$

$$J^2 = 2\ a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon - 2\ a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\delta \text{ oder}$$

$$J^2 = 2\ a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ (1 - \operatorname{Cos}\ \delta).$$

Diese Ausdrücke sind die nämlichen wie die oben gefundenen, und da es keine andere Stellung der Schwingungsebenen mehr gibt, so kommt ihnen allgemeine Gültigkeit zu.

(2) Mit dem andern Strahl zusammen kommt er dem ursprünglichen Strahl gleich. Die Intensität des letztern ist a^2 (wenn die Constante weggelassen wird). Die Intensität der beiden Strahlen im gewöhnlichen und im complementären Bild des Analysators ist
$K^2 = a^2 \operatorname{Sin}^4\varepsilon + a^2\operatorname{Cos}^4\varepsilon + 2\ a^2\operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\delta$ und $J^2 = 2\ a^2\operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon - 2\ a^2\operatorname{Sin}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}^2\varepsilon\ \operatorname{Cos}\delta$.
Die Summe gibt $a^2\ (\operatorname{Sin}^2\varepsilon + \operatorname{Cos}^2\varepsilon)^2 = a^2$.

Dreht man den Analysator um 90°, so dass seine Schwingungsebene, statt mit der des Polarisators sich zu kreuzen, derselben parallel wird, so gibt die zweite Formel die Lichtintensität des gewöhnlichen Bildes, während der durch die erste Intensitätsformel gemessene Strahl verloren geht oder in das complementäre Bild fällt.

tigkeit die nämliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen, so hat man nach der eben abgeleiteten Formel folgende Erscheinungen. Ist $\delta = 0$, d. h. befinden sich die beiden rechtwinklig zu einander polarisirten Strahlen bei ihrem Austritt aus dem doppelbrechenden Object in gleichen Phasen, so wird $\mathrm{Cos}\,\delta = 1$ und der ganze Ausdruck 0, d. h. das Object erscheint, wenn man es um seine Axe dreht, in jeder Lage dunkel, als ob es aus einer isotropen Substanz bestände. Wir werden sogleich sehen, dass es für jeden doppelbrechenden Körper eine Reihe von successiven Dicken gibt, bei welchen die beiden Strahlen in gleichen Phasen heraustreten; in allen diesen Fällen wird er sich bei Anwendung von homogenem Licht wie eine Substanz von einfacher Brechung verhalten.

Hat dagegen δ einen bestimmten Werth, befinden sich also die beiden Strahlen in verschiedenen Phasen, so gibt der Ausdruck $1 - \mathrm{Cos}\,\delta$ immer einen Werth, der grösser als 0 und kleiner als 1 ist. Das Object ist also mehr oder weniger erleuchtet, vorausgesetzt, dass seine Schwingungsebenen nicht mit denen der beiden Prismen zusammenfallen. Dreht man es um seine Axe, so verändert sich die Helligkeit; der Grad derselben wird durch den Ausdruck $\mathrm{Sin}^2 \varepsilon\, \mathrm{Cos}^2 \varepsilon$ bedingt. Dieser Ausdruck wird 0, wenn $\varepsilon = 0^\circ$ oder $= 90^\circ$ oder $= 180^\circ$ oder $= 270^\circ$ ist; es sind dies eben die Stellungen, wo das Object mit den beiden Prismen die gleichen Oscillationsebenen hat. Jener Ausdruck nimmt seinen grössten Werth an, wenn $\varepsilon = 45^\circ$ oder $= 135^\circ$ oder $= 225^\circ$ oder $= 315^\circ$, d. h. wenn die Schwingungsebenen des Objectes zu denen der beiden Prismen eine diagonale Stellung einnehmen.

b. Veränderung der Lichtintensität bei verschiedener Dicke des Körpers oder in einem Keil.

Auf die Intensität des im Polarisationsmicroscop von homogenem Licht beleuchteten doppelbrechenden Körpers hat aber nicht bloss die Stellung seiner Schwingungsebenen, sondern auch seine Dicke Einfluss, weil die Weglänge den Phasenunterschied und somit die Interferenz bedingt, welche im Allgemeinen immer zwischen den beiden Gruppen von polarisirten Strahlen eintreten muss. — Die zwei senkrecht zu einander polarisirten Componenten, in welche ein Lichtstrahl in einem doppelbrechenden Körper sich spaltet, pflanzen sich mit ungleicher Schnelligkeit fort; die schwächer gebrochene eilt der stärker gebrochenen voraus (Pag. 11). Der schnellere Strahl hat längere, der langsamere kürzere Wellen; und zwar steht die Wellenlänge im direkten Verhältniss zur Geschwindigkeit. Denn $L = TV$, wenn L die Wellenlänge, V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtstrahls und T die für diesen Fall constante Oscillationsdauer bezeichnet. Beim Eintritt in die doppelbrechende Substanz haben die zwei Strahlen, in die sich ein Strahl theilt, natürlich die nämliche Schwingungsphase. Wegen der Ungleichheit der Wellenlängen befinden sie sich aber beim Austritt in ungleichen Phasen. Gesetzt der schnellere Strahl brauche $4^{1}/_{2}$, der langsamere $4^{3}/_{4}$ Wellenlängen, um einen doppelbrechenden Körper von einer bestimmten Dicke zu durchlaufen, so werden sie beim Austritt, sie mögen in irgend einer Phase eingetreten sein, immer um $^5/_{12}$ Wellenlängen oder was das Nämliche ist um $^5/_{12}$ einer ganzen Schwingung von einander differiren. Den gleichen Phasenunterschied werden sie aber auch zeigen, wenn der eine $3^1/_3$, der andere $5^3/_4$ oder $6^3/_4$ Wellenlängen nöthig hätte.

Es geschieht nun zuweilen, dass die Componenten des nämlichen Strahls, häufig aber dass diejenigen von verschiedenen Strahlen mit einander interferiren. Da in beiden Fällen der Effect der nämliche ist, so müssen wir nicht nur annehmen, dass das natürliche Licht, welches von der nämlichen Lichtquelle herkommt, keine Seitlichkeit habe, sondern auch dass die dem gleichen Lichtbüschel angehörenden Strahlen von gleicher Intensität seien und in der gleichen Wellenebene sich in der nämlichen Schwingungsphase befinden.

In Fig. 31 sind a a und b b die Flächen des doppelbrechenden Körpers, auf welchen ein Lichtbüschel senkrecht auffällt; cf, dg, eh sind drei unter einander parallele Strahlen desselben. Ist der Körper einaxig und seine Axe nicht parallel der Fläche bb, was ich hier annehmen will, so theilt sich jeder Strahl in 2 polarisirte Componenten (cf in fm und fi, dg in gn und gk, eh in ho und hl), von denen die ordentliche in gerader Richtung sich fortsetzt (cfm, dgn und eho). Die ausserordentliche Componente dagegen (fi, gk, hl) wird gebrochen und verlässt den Körper in paralleler Richtung mit dem einfallenden Strahl; diejenige von cf geht von f nach i und von i nach n, ebenso sind gko und hlp die extraordinären Componenten von dg und eh. Es treten also in i, in k und so auf jedem andern Punkt der Oberfläche 2 Strahlen, ein ordentlicher und ein ausserordentlicher, heraus, welche ungleiche Weglängen in dem doppelbrechenden Körper und mit ungleicher Geschwindigkeit zurückgelegt haben und daher auch, da die Strahlen vor dem Eintritt in gleichen Phasen sich befanden, jetzt ungleiche Phasen zeigen müssen. — Ist der Körper zweiaxig und liegt keine seiner Elasticitätsaxen horizontal, so werden die beiden polarisirten Componenten eines Elementarstrahls gebrochen; im Uebrigen ist das Resultat das nämliche. — Haben dagegen im einaxigen Körper die optische Axe oder im zweiaxigen zwei der Elasticitätsaxen eine zum einfallenden Strahl rechtwinklige Lage, so setzen beide Componenten die Richtung des letztern fort, treten an dem nämlichen Punkte heraus und fallen auf ihrem weitern Wege der Richtung nach zusammen.

In Fig. 30 sind aa und bb wieder die parallelen Grenzflächen eines anisotropen Körpers, auf welchen ein Lichtbündel, dem die beiden parallelen Strahlen cf und dg angehören, schief auffällt. cf spaltet sich in fh und fi, welche nach ihrem Austritte als hm und in wieder parallel laufen. dg theilt sich in gi und gk, welche als in und ko heraustreten. In in treffen also gi die stärker gebrochene Componente von dg, und fi die schwächer gebrochene von cf zusammen. Da die beiden Strahlen, von denen sie herstammen, in ihren Schwingungen übereinstimmen, so befinden sie sich, wenn ef eine Senkrechte auf dg ist, in e und f in der nämlichen Phase. Der eine Strahl durchläuft nun bis i den kürzern Weg fi, der andere den längern egi; der letztere, der überdem als der stärker gebrochene der langsamere ist, wird also durch den längern Weg noch mehr verzögert und in Folge dessen der Phasenunterschied der beiden in der Richtung In zusammentreffenden Strahlen erhöht.

Wenn demnach die Strahlen eines von einer entfernten Quelle herkommenden Lichtbündels, die desswegen als parallel laufend angenommen werden können, durch einen doppelbrechenden Körper gehn, so treten an jedem Punkte desselben 2 gleichlaufende Strahlen heraus, die senkrecht zu einander polarisirt sind, und die, im analysirenden Prisma auf die gleiche Schwingungsebene übertragen, mit einander interferiren. Entweder sind es die Componenten des nämlichen Strahls, oder dann zweier Strahlen, die sich vor dem Eintritte in der gleichen Phase befinden, und die nämliche Stärke besitzen(1)). Die Vibrationsintensität der aus der Interferenz resultirenden Strahlen hängt von der Intensität der interferirenden Componenten und von dem erlangten Phasenunterschied ab. Der letztere wird bedingt durch die Brechbarkeit der Substanz und in der gleichen Substanz durch die Mächtigkeit derselben, d. h. durch die Länge des Weges. Da die Strahlen, welche einen doppelbrechenden Körper in den beiden rechtwinklig sich kreuzenden Schwingungsebenen durchlaufen, ungleiche Wellenlängen haben, so muss ihr Phasenunterschied mit der zunehmenden Dicke desselben wachsen. Das Object hat bei Anwendung von homogenem Licht je nach seiner Dicke eine verschieden starke Erleuchtung. Eine keilförmig geschliffene Crystallsplatte, welche zwischen die beiden Prismen gebracht wird, zeigt abwechselnd helle und dunkle Streifen (Fig. 18, C) und zwar am deutlichsten bei diagonaler Stellung, weil dann die grösste Erhellung möglich ist.

Fig. 18 A stellt einen solchen Keil dar; in m ist die Dicke Null und für die beiden Strahlen besteht kein Unterschied; in n ist der langsamer sich fortpflanzende Strahl dem schnelleren um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge vorausgeeilt, in o, p, q, r und s um 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ und 3 Wellenlängen. Es versteht sich, dass die Dicke der Platte an den bezeichneten Stellen die nämlichen Verhältnisse zeigt, dass sie z. B. in s 3 mal so dick ist als in o, $1\frac{1}{2}$ so dick als in q u. s. w. Die Lichtintensität, die jeder einzelne Punkt der keilförmigen Platte gibt, ist (Pag. 32)

$$J^2 = 2a^2 \operatorname{Sin}^2\varepsilon \operatorname{Cos}^2\varepsilon \,[1 - \operatorname{Cos}\,\delta].$$

Bei der angegebenen diagonalen Stellung ist $\operatorname{Sin}^2\varepsilon = \operatorname{Cos}^2\varepsilon = \frac{1}{2}$; und man hat somit für die Lichtintensität $\frac{1}{2}\, a^2\, [1 - \operatorname{Cos}\,\delta]$, oder, wenn man die jedesmalige Dicke der Platte = D, und die Dicke derselben in o, wo der eine Strahl den andern um eine ganze Wellenlänge überholt hat, = d setzt,

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\, a^2\, [1 - \operatorname{Cos} \frac{D\,.\,360^\circ}{d}].$$

In dieser Formel ist für die nämliche keilförmige Platte D variabel. An denjenigen Stellen, wo dasselbe = 0, 1 d, 2 d, 3 d u. s. w., wird der ganze Ausdruck Null, und die Platte erscheint dunkel (in m, o, q, s). An denjenigen Stellen, wo D = $\frac{1}{2}$ d, $1\frac{1}{2}$ d, $2\frac{1}{2}$ d etc., erhält der Ausdruck seinen höchsten Werth, nämlich $\frac{1}{2}\,a^2$ (in n, p, r); sie zeigen die halbe Helligkeit des von dem Polarisator kommenden Lichtes, während die andere Hälfte der Lichtmenge durch Interferenz in der andern Schwingungsebene des Analysators sich vollständig vernichtet. In Fig. 18 B ist die Intensitätscurve für homogenes Licht dargestellt, wie sie dem nebenstehenden Keil entspricht. Fig. 18 C zeigt die keilförmige Platte von der Fläche.

---

(1) Die Strahlen jedes Lichtbündels, welches vom Spiegel in das untere Polarisationsprisma eintritt, haben, als von der gleichen Lichtquelle kommend, die gleiche Intensität. Da sie keine Seitlichkeit rücksichtlich ihrer Schwingungsrichtungen zeigen, so liefern sie bei der Uebertragung auf die Schwingungsebene des Polarisators je zwei Componenten von gleicher Stärke, und wir können demnach annehmen, dass jedes aus dem Prisma ins Gesichtsfeld kommende Lichtbüschel aus Strahlen von gleicher Intensität zusammengesetzt ist.

Was hier von den verschieden dicken Stellen einer keilförmigen Platte ausgesagt wurde, das gilt auch für verschiedene Platten von ungleicher Dicke desselben Crystalls. Dabei wird natürlich vorausgesetzt, dass alle übrigen Verhältnisse sich gleich bleiben, d. h. dass die Flächen die gleiche Neigung zu den optischen Axen zeigen und die homologen Schwingungsebenen die gleichen Winkel mit den beiden Prismen bilden.

V. Zwei übereinander liegende anisotrope crystallähnliche Körper, mit homogenem Lichte beobachtet.

Legt man zwei doppelbrechende Körper über einander und beobachtet man dieselben mit homogenem Lichte, so wird die Intensität des Bildes bedingt durch die Phasen, in welchen die beiden Strahlen den einen und andern Körper verlassen und durch die Winkel, welche ihre Schwingungsebenen unter einander und mit denen der beiden Prismen bilden. Die allgemeine Behandlung dieses Problems hat für unsere Zwecke keinen Werth; dagegen sind einige specielle Fälle von Wichtigkeit. — Wenn die beiden doppelbrechenden Körper so über einander liegen, dass die homologen Schwingungsebenen zusammen treffen, so wird der Phasenunterschied der in den beiden Ebenen schwingenden Strahlen erhöht; er ist gleich der Summe der Gangunterschiede, den der eine und der andere Körper für sich allein geben würde. Zwei Platten des nämlichen Crystalls wirken wie eine einzige Platte, welche die Dicke jener beiden hat. Die Lichtintensität, welche ein homogener Strahl mit dem ersten und mit dem zweiten Körper allein gibt, ist
$J_{,}^2 = 2\,a\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta_{,})$ und $J_{,,}^2 = 2\,a\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta_{,,})$.

Die Intensität, welche beide Körper über einander gelegt geben, ist

$$J^2 = 2\,a\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,[1 - \mathrm{Cos}\,(\delta_{,} + \delta_{,,})]$$

Liegen hingegen die beiden doppelbrechenden Objecte so auf einander, dass die heterologen Schwingungsebenen sich entsprechen, so wird der Phasenunterschied vermindert. Die Componente eines homogenen Strahls, die sich im ersten Körper schneller fortpflanzt, wird im zweiten verlangsamt; und umgekehrt wird die im ersten Körper langsamere Componente im zweiten beschleunigt. Der Phasenunterschied ist die Differenz der Gangunterschiede des einen und andern Objectes; zwei Platten des nämlichen Crystalls wirken wie eine einzige, die bloss die Mächtigkeit der Dickendifferenz hat. Die Intensität eines Lichtstrahls ist

$$J^2 = 2\,a\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,[1 - \mathrm{Cos}\,(\delta_, - \delta_{,,})].$$

a) Bestimmung der Lichtintensität, welche zwei gleiche Körper geben.

Ein besonderer Fall ist ferner der, dass 2 doppelbrechende Körper von ganz gleicher Natur und gleicher Dicke mit verschiedenen Winkeln der Schwingungsebenen über einander liegen. Es ist die Frage, bei welcher Stellung zu den beiden Prismen (Polarisator und Analysator) die Beleuchtung am intensivsten ist. In Fig. 36 ist r der senkrecht sich fortpflanzende Strahl, der von dem Polarisator kommt und in der Ebene A A, schwingt, mit der Oscillationsweite ra. In dem ersten doppelbrechenden Körper wird er auf dessen Schwingungsebenen C C, und D D,, welche um den Winkel ε von denen der Polarisationsprismen abstehen, übertragen. Die beiden Componenten haben die Oscillationsweiten $rc = ra\,.\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon$ und $rd = ra\,.\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon$. Beim Eintritt befinden sie sich natürlich in der nämlichen Phase; nachdem sie durch den Körper hindurch gegangen sind, haben sie den Phasenunterschied δ erreicht, indem der in C C, schwingende langsamer sich fortpflanzende und mit kürzern Wellen begabte Strahl dem andern um diese Grösse vorausgeeilt ist. Sie treffen nun die zweite doppelbrechende Substanz mit den Schwingungsebenen F F, und G G, an, welche um den Winkel η von C C, und D D, entfernt sind. Es wird also jeder Strahl wieder in zwei Componenten zerlegt, rc in re und rg, rd in rf und rh. Beim Eintritt in die Schwingungsebene F F, interferiren re und rf, in G G, dagegen rh und rg. Die Vibrationsintensität (J,) des resultirenden, in F F, schwingenden Strahls $= \sqrt{(re)^2 + (rf)^2 + 2\,re\,.\,rf\,.\,\mathrm{Cos}\,\delta}$.
$re = rc\,.\,\mathrm{Cos}\,\eta = ra\,.\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\eta$; $rf = rd\,.\,\mathrm{Sin}\,\eta = ra\,.\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}\,\eta$. Man hat also, wenn man zugleich statt der Oscillationsweite ra die Vibrationsintensität a setzt,

$$J_, = \sqrt{a^2\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\eta + a^2\,\mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}^2\,\eta + 2\,a^2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}\,\eta\ \mathrm{Cos}\,\eta\ \mathrm{Cos}\,\delta}.$$

Die Vibrationsintensität (J,,) des resultirenden in G G, schwingenden Strahls $= \sqrt{(rg)^2 + (rh)^2 - 2\,.\,rg\,.\,rh\,.\,\mathrm{Cos}\,\delta}$; der Phasenunterschied ist durch die Uebertragung hier $\delta \pm 180^0$ geworden (Pag 25 Anm.). $rg = rc\,.\,\mathrm{Sin}\,\eta = ra\,.\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}\,\eta$ und $rh = rd\,.\,\mathrm{Cos}\,\eta = ra\,.\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\eta$. Also

$$J_{,,} = \sqrt{a^2\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}^2\,\eta + a^2\,\mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\eta - 2\,a^2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\varepsilon\ \mathrm{Sin}\,\eta\ \mathrm{Cos}\,\eta\ \mathrm{Cos}\,\delta}.$$

Die beiden Strahlen J, nnd J,, gehen durch den zweiten doppelbrechenden Körper hindurch und werden im obern Prisma analysirt; der in der Ebene F F, schwingende pflanzt sich langsamer fort und hat kürzere Wellen. Der Phasenunterschied, der zwischen ihnen beim Eintritt in den zweiten Körper besteht, lässt sich aus den Vibrationsintensitäten und aus dem Gangunterschied δ berechnen. Es versteht sich, dass die beiden Componenten re und rg in der gleichen Phase sich befinden wie rc. Der Phasenunterschied zwischen dem aus der Interferenz von re und rf resultirenden Strahl und dem ersten interferirenden Strahl (re) sei γ, so ist (Pag. 22)

$$\operatorname{Sin}\gamma = \frac{\mathrm{rf} \,.\, \operatorname{Sin}\delta}{J_,} = \frac{a \operatorname{Cos}\varepsilon \ \operatorname{Sin}\eta \ \operatorname{Sin}\delta}{J_,} \text{ und}$$

$$\operatorname{Cos}\gamma = \frac{\mathrm{re} + \mathrm{rf} \,.\, \operatorname{Cos}\delta}{J_,} = \frac{a \operatorname{Sin}\varepsilon \ \operatorname{Cos}\eta + a \operatorname{Cos}\varepsilon \ \operatorname{Sin}\eta \ \operatorname{Cos}\delta}{J_,}$$

Der Phasenunterschied zwischen dem aus rg und rh resultirenden Strahl und dem ersten interferirenden Strahl (rg) sei ϑ, so ist

$$\operatorname{Sin}\vartheta = \frac{-\,\mathrm{rh} \,.\, \operatorname{Sin}\delta}{J_{,,}} = \frac{-\,a \operatorname{Cos}\varepsilon \ \operatorname{Cos}\eta \ \operatorname{Sin}\delta}{J_{,,}}$$

$$\operatorname{Cos}\vartheta = \frac{\mathrm{rg} - \mathrm{rh} \,.\, \operatorname{Cos}\delta}{J_{,,}} = \frac{a \operatorname{Sin}\varepsilon \ \operatorname{Sin}\eta - a \operatorname{Cos}\varepsilon \ \operatorname{Cos}\eta \ \operatorname{Cos}\delta}{J_{,,}}$$

Es sei nun die Phase des Strahls rd in dem Moment, wo er als Componente rf in F F, eintritt, $= \chi$, so sind die Phasen von re und rg der beiden Componenten von rc, beim Eintritt in F F, und G G, $= \chi + \delta$, und die Phase von rh $= \chi \pm 180^\circ$ (sie wäre wie die von rf $= \chi$ und würde von rg um δ abweichen, wenn nicht bei der Uebertragung ihre Differenz um $\pm$ 180° sich geändert hätte). Die Phase des resultirenden Strahls $J_,$ sei $= \kappa$, die von $J_{,,} = \lambda$; so ist $\chi + \delta - \kappa = \gamma$ und somit $\kappa = \chi + \delta - \gamma$, ferner $\chi + \delta - \lambda = \vartheta$ und $\lambda = \chi + \delta - \vartheta$, — beides in Betracht, dass γ und ϑ mit Rücksicht auf re und rg bestimmt wurden. Es ist also der Phasenunterschied von $J_,$ und $J_{,,} = \kappa - \lambda = \vartheta - \delta$.

Wenn die beiden Strahlen $J_,$ und $J_{,,}$, welche in den Schwingungsebenen des zweiten Körpers durch Interferenz entstehen und mit einem Gangunterschied $\vartheta - \gamma$ beginnen, durch denselben hindurch gegangen sind, so hat sich ihr Phasenunterschied um δ gesteigert und beträgt somit $\vartheta - \gamma + \delta$. Ich habe angenommen, dass der langsamer sich fortpflanzende Strahl, welcher mehr und kürzere Wellen macht, im ersten Körper in C C, im zweiten in F F, schwingt. Würde in F F, der schnellere Strahl oscilliren, so betrüge der Gangunterschied zuletzt $\vartheta - \gamma - \delta$.

Endlich werden die beiden Strahlen $J_,$ und $J_{,,}$, welche aus dem zweiten doppelbrechenden Körper heraustreten, auf die Schwingungsebenen A A, und B B, des obern Prisma's übertragen und dabei jeder wieder in zwei Componenten zerlegt. $J_,$ (von F F, herkommend) hat auf B B, die Componente $J_, \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta)$, auf A A, die Componente $J_, \operatorname{Cos}(90^\circ - \varepsilon - \eta) = J_, \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta)$. $J_{,,}$ (von G G, herstammend) erscheint auf A A, als $J_{,,} \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta)$, auf B B, als $J_{,,} \operatorname{Cos}(90^\circ - \varepsilon - \eta) = J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta)$. Der aus den beiden in B B, interferirenden Strahlen resultirende Strahl hat die Vibrationsintensität

$$J = \sqrt{J_{,}^{2} \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) + J_{,,}^{2} \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + 2 J_, J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)}$$

Der resultirende Strahl in A A, dagegen hat die Vibrationsintensität

$$K = \sqrt{J_{,}^2 \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + J_{,,}^2 \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) - 2\, J_{,} J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)}.$$

Es bedarf noch einer Erörterung, warum der dritte Ausdruck unter dem Wurzelzeichen bei J positiv, bei K negativ ist. Offenbar haben in der Construktion (Fig. 36) die Componenten $J_{,}$ und $J_{,,}$ in der Ebene A A, die gleiche, in der Ebene B B, die entgegengesetzte Richtung; und man sollte daher auf den ersten Blick eher die umgekehrten Zeichen erwarten. Es ist aber zu bemerken, dass bei der Bestimmung der Phasendifferenz zwischen $J_{,}$ und $J_{,,}$ die Nullpunkte der Phasen von re, rf und $J_{,}$ auf der Seite von F und diejenigen der Strahlen rg, rh und $J_{,,}$ auf der Seite von G, angenommen wurden; denn rh erhielt mit Beziehung darauf die Phase $\varphi \pm 180°$, re und rg die Phasen $\varphi + \delta$. Wenn nun $J_{,}$ und $J_{,,}$ auf B B, übertragen werden, so fallen die Nullpunkte ihrer Phasen (von F und G, auf die nämliche Seite (B) und ihr Phasenunterschied, der als $\vartheta - \gamma + \delta$ bestimmt wurde, bleibt unverändert. Bei der Uebertragung auf A A, hingegen, trifft der Nullpunkt der Phase des Strahles $J_{,}$ von G, auf die Seite von $A_{,,}$ derjenige der Phase von $J_{,,}$ auf die Seite von A; die Phasendifferenz wird um 180° geändert. Man hat daher in der Formel für J den Faktor $\operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)$ in der Formel für K den Faktor $\operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta + 180°)$ oder $- \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)$. Die Annahme der Phasennullpunkte ist willkürlich; eine andere Annahme verändert das Resultat nicht[1].

Es beträgt also die Lichtintensität, welche aus der Schwingungsebene B B, in das Auge des Beobachters gelangt

---

(1) Man könnte den Phasenunterschied γ und ϑ aber auch mit Rücksicht auf die zweiten (statt der ersten) der beiden interferirenden Componenten bestimmen. Es wäre dann $\gamma = \varkappa - \varphi$ und $\vartheta = \lambda - \varphi \pm 180°$; und $\varkappa - \lambda = \gamma - \vartheta \pm 180°$, wenn die Nullpunkte für die Phasen von rg, rh und $J_{,,}$ immer auf der Seite von G, die von re, rf und $J_{,}$ auf der Seite von F liegen. Bei der Uebertragung fallen die Nullpunkte für die Componenten von $J_{,}$ und $J_{,,}$ in B B, wieder auf die nämliche, in A A, auf die opponirten Seiten und der Phasenunterschied von $J_{,}$ und $J_{,,}$ bleibt auf B B, $= \gamma - \vartheta \pm 180°$, auf A A, wird er $= \gamma - \vartheta \pm 180° + 180° = \gamma - \vartheta$. Wir haben also auf diesem Wege

$$J = \sqrt{J_{,}^2 \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + J_{,,}^2 \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) - 2\, J_{,} J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)}$$

$$K = \sqrt{J_{,}^2 \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) + J_{,,}^2 \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + 2\, J_{,} J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta)}.$$

Hier haben aber ϑ und γ andere Werthe als in den oben entwickelten Formeln. Es ist nämlich $\operatorname{Sin} \gamma = \frac{re \,.\, \operatorname{Sin} \delta}{J_{,}} = \frac{a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \eta \operatorname{Cos} \delta}{J_{,}}$ und $\operatorname{Cos} \gamma = \frac{rf + re \,.\, \operatorname{Cos} \delta}{J_{,}} = \frac{a \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Sin} \eta + a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Cos} \eta \operatorname{Cos} \delta}{J_{,}}$; ferner $\operatorname{Sin} \vartheta = \frac{- rg \,.\, \operatorname{Sin} \delta}{J_{,,}} = \frac{- a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \eta \operatorname{Sin} \delta}{J_{,,}}$ und $\operatorname{Cos} \vartheta = \frac{rh - rg \,.\, \operatorname{Cos} \delta}{J_{,,}} = \frac{a \operatorname{Cos} \varepsilon \operatorname{Cos} \eta - a \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \eta \operatorname{Cos} \delta}{J_{,,}}$. Es versteht sich, dass J und K, auf diesem Wege berechnet, die gleichen Grössen nur in einer andern Form zeigen. Die Zeichen vor dem dritten Ausdruck unter dem Wurzelzeichen sind die entgegengesetzten geworden; aber auch die Werthe, durch welche ϑ und γ bestimmt werden, haben gewechselt.

$$J^2 = J_,^2 \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) + J_{,,}^2 \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + 2 J_, J_{,,} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta).$$

$\operatorname{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta) = \operatorname{Cos}\gamma \operatorname{Cos}\vartheta \operatorname{Cos}\delta + \operatorname{Sin}\gamma \operatorname{Sin}\vartheta \operatorname{Cos}\delta - \operatorname{Cos}\gamma \operatorname{Sin}\vartheta \operatorname{Sin}\delta + \operatorname{Sin}\gamma \operatorname{Cos}\vartheta \operatorname{Sin}\delta$. Wenn man für $J_,$ und $J_{,,}$, für $\operatorname{Sin}\gamma$, $\operatorname{Cos}\gamma$, $\operatorname{Sin}\vartheta$ und $\operatorname{Cos}\vartheta$ die Werthe (Pag. 37, 38) einsetzt, so hat man für die Lichtintensität

$$\begin{aligned}
J^2 = {} & \left\{\operatorname{Sin}^2\varepsilon \operatorname{Cos}^2\eta + \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Sin}^2\eta + 2 \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Cos}\delta\right\} \operatorname{Cos}^2(\varepsilon + \eta) \\
& + \left\{\operatorname{Sin}^2\varepsilon \operatorname{Sin}^2\eta + \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Cos}^2\eta - 2 \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Cos}\delta\right\} \operatorname{Sin}^2(\varepsilon + \eta) \\
& + 2 \left\{\operatorname{Sin}^2\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Cos}\delta + \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Sin}^2\eta \operatorname{Cos}^2\delta\right. \\
& \qquad - \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Cos}^2\eta \operatorname{Cos}^2\delta - \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Cos}^2\delta \\
& \qquad - \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Sin}^2\delta \operatorname{Cos}\delta + \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Cos}^2\eta \operatorname{Sin}^2\delta \\
& \qquad + \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Sin}^2\delta \operatorname{Cos}\delta + \operatorname{Sin}\varepsilon \operatorname{Cos}\varepsilon \operatorname{Sin}^2\eta \operatorname{Sin}^2\delta \\
& \qquad \left. - \operatorname{Cos}^2\varepsilon \operatorname{Sin}\eta \operatorname{Cos}\eta \operatorname{Sin}^2\delta \operatorname{Cos}\delta\right\} \operatorname{Sin}(\varepsilon + \eta) \operatorname{Cos}(\varepsilon + \eta).
\end{aligned}$$

Dieser ganze Ausdruck lässt sich auf folgenden reduciren.[1]

---

(1) Ich lasse die Ausführung der weitläufigen Reduction als eine rein mathematische Operation weg.

Ich habe bei Berechnung der Lichtintensität angenommen, dass die aus den Schwingungsebenen des ersten Körpers (Fig. 36, C C, und D D,) in den zweiten (in F F, und G G,) eintretenden Strahlen daselbst interferiren, dass somit aus den 4 Componenten 2 Strahlen resultiren, welche mit einem gewissen Phasenunterschied beginnen, denselben um δ vermehren und schliesslich auf die Schwingungsebene des analysirenden Prisma's übertragen interferiren. Die Rechnung folgt auf diesem Wege dem Prozesse, der in Wirklichkeit statt hat, Schritt für Schritt. Wir können, ohne das mechanische Problem zu alteriren, auch jeden Strahl gesondert bis in das obere Prisma verfolgen und dort erst die Interferenzen eintreten lassen. Die Rechnung wird etwas einfacher; das Resultat muss das nämliche sein. Bei dieser Betrachtungsweise lassen wir also den vom polarisirenden Nicol kommenden Strahl ra (Fig. 36) sich beim Eintritt in die Schwingungsebenen des ersten Körpers in die Strahlen rc und rd, diese letztern beim Eintritt in den zweiten Körper einerseits in re und rg, anderseits in rf und rh theilen; endlich werden im analysirenden Prisma re in ri und rn, rf in rk und ro, rg in rl und rp und rh in rm und rq zerlegt

Es gelangen also auf die Schwingungsebene A A, des Analysators die 4 Componenten ro, rq, rn und rp, auf die Schwingungsebene B B, die 4 Componenten rk, rl, ri und rm. Halten wir uns vorläufig an die letztern. Um sie interferiren zu lassen und den aus ihnen resultirenden Strahl zu bestimmen, müssen zuerst ihre Phasen festgestellt werden. Beim Eintritt in die Schwingungsebenen C C, und D D, befinden sich rc und rd in der nämlichen Phase; beim Austritt besteht zwischen ihnen ein Phasenunterschied $= \delta$, indem rc um so viel vorausgeeilt ist. Wenn also rd χ Wellenlängen durchlaufen hat, so kommt auf rc die Zahl von $\chi + \delta$ Wellenlängen; oder φ (rd) d. h. die Phase von rd $= \chi$ und φ (rc) $= \chi + \delta$. Nehmen wir den Ausgangspunkt der Schwingungen in der Ebene A A, auf der Seite von A an, so wird er sich für C C, auf der Seite von C und für D D, auf der Seite von D befinden. re und rg, die beiden Componenten von rc, befinden sich beim Eintritt in das zweite Object in der nämlichen Phase wie der austretende Strahl rc, nämlich in in Phase $\chi + \delta$. re macht in der Ebene F F, wieder $\chi + \delta$, dagegen rg in der Ebene G G, nur χ Wellenlängen, indem sie eine Phasendifferenz von δ erlangen. Beim Austritt ist also die Phase von re oder φ (re) $= 2\chi + 2\delta$ und φ (rg) $= 2\chi + d$, wenn die Schwingungsnullpunkte, übereinstimmend mit C, für die Ebene F F, auf der Seite von F und für G G, auf der Seite von G, sich befinden.

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\;\mathrm{Sin}^2\,\delta\;[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]$$

In gleicher Weise lässt sich die Intensität des durch die Schwingungsebene A A, des analysirenden Prisma's aufsteigenden und für das Auge verloren gehenden

---

rf und rh haben beim Eintritt in ihre Ebenen die gleiche Phase wie der austretende Strahl rd, von welchem sie herstammen, nämlich χ; beim Durchgange durch das zweite Object erreichen sie ebenfalls eine Differenz $= \delta$ und beim Austritte ist $\varphi\,(rf) = 2\,\chi + \delta$ und $\varphi\,(rh) = 2\,\chi$, wenn die Ausgangspunkte der Schwingungen, entsprechend D, sich auf der Seite von F und G befinden. Da aber für die Componente rg der Oscillationsnullpunkt bereits auf der Seite von G, angenommen wurde, so muss derselbe auch für rh beibehalten werden, und es ist demnach $\varphi\,(rf) = 2\,\chi + d$ und $\varphi\,(rh) = 2\,\chi \pm 180^0$

Bei der Uebertragung auf die Schwingungsebene B B, fallen die Nullpunkte von F und von G, übereinstimmend auf die Seite von B, und es verändern sich somit die Phasen der 4 Strahlen nicht Man hat demnach $\varphi\,(ri) = \varphi\,(re) = 2\,\chi + 2\,d$: $\varphi\,(rl) = \varphi\,(rg) = 2\,\chi + \delta$; $\varphi\,(rk) = \varphi\,(rf) = 2\,\chi + \delta$; $\varphi\,(rm) = \varphi\,(rh) \pm 180^0 = 2\,\chi \pm 180^0$. Da es sich nur um die Phasenunterschiede handelt, so kann man überall $2\,\chi$ weglassen und es ist $\varphi\,(ri) = 2\,\delta$; $\varphi\,(rl) = \delta$; $\varphi\,(rk) = \delta$; $\varphi\,(rm) = \pm 180^0$. Von den 4 Strahlen ist ri durch zwei Ebenen langsamerer Fortpflanzung, rl und rk durch je eine Ebene langsamerer und je eine schnellerer, rm durch 2 Ebenen schnellerer Fortpflanzung gegangen; und ausserdem wurde der letztere Strahl durch die Uebertragung um 180° von dem gemeinschaftlichen Ausgangspunkt der drei übrigen entfernt.

Wir können nun nicht alle 4 Strahlen in der Rechnung gleichzeitig interferiren lassen, weil dafür die Formel mangelt; aber wir können sie paarweise in beliebiger Combination vereinigen. Am einfachsten ist es, wenn einerseits die beiden gleichphasigen Componenten (rl und rk) zusammen treten. Die Vibrationsintensität des aus rl und rk resultirenden Strahls ist

$$\begin{aligned} J_{,} &= \sqrt{(rl)^2 + (rk)^2 + 2\,rl\,.\,rk} \\ &= \sqrt{\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\;\mathrm{Sin}^2\,\eta\;\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\;\mathrm{Sin}^2\,\eta\;\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon + \eta) \\ \qquad + 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}\,\varepsilon\;\mathrm{Sin}^2\,\eta\;\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta)\;\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta)}. \end{aligned}$$

Die Vibrationsintensität der Resultante von ri und rm ist (da der Phasenunterschied $2\,\delta \pm 180^0$ beträgt):

$$\begin{aligned} J_{,,} &= \sqrt{(ri)^2 + (rm)^2 - 2\,ri\,.\,rm\,.\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta} \\ &= \sqrt{\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}^2\,\eta\;\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}^2\,\eta\;\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon + \eta) \\ \qquad - 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}^2\,\eta\;\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta)\;\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta)\;\mathrm{Cos}\,2\,\delta}. \end{aligned}$$

Die Phase der Resultante $J_{,}$ ist die nämliche wie die ihrer beiden Componenten, nämlich χ; diejenige des Strahls $J_{,,}$ sei λ. Der Phasenunterschied zwischen $J_{,,}$ und der ersten seiner beiden Componenten $(ri) = \vartheta$, also $\lambda = \chi + \delta - \vartheta$; und $\lambda - \chi$ (der Phasenunterschied zwischen $J_{,}$ und $J_{,,}$) $= \delta - \vartheta$ oder $\vartheta - \delta$. Für ϑ haben wir aber die Formeln

$$\mathrm{Sin}\,\vartheta = \frac{-rm\,.\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta}{J_{,,}} = \frac{-\mathrm{Cos}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}\,\eta\;\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta)\;\mathrm{Sin}\,2\,\delta}{J_{,,}}$$

$$\mathrm{Cos}\,\vartheta = \frac{ri - rm\;\mathrm{Cos}\,2\,\delta}{J_{,,}} = \frac{\mathrm{Sin}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}\,\eta\;\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta) - \mathrm{Cos}\,\varepsilon\;\mathrm{Cos}\,\eta\;\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta)\;\mathrm{Cos}\,2\,\delta}{J_{,,}}.$$

Die Vibrationsintensität des aus $J_{,}$ und $J_{,,}$ resultirenden Strahls beträgt

$$J = \sqrt{J^2_{,} + J^2_{,,} + 2\,J_{,}\,J_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\delta - \vartheta)}$$

Strahls berechnen. Die auf den Schwingungsebenen F F, und G G, (in Fig. 36) interferirenden Strahlen haben die Vibrationsintensitäten $J_{,}$ und $J_{,,}$. Die Componenten dieser beiden Strahlen, auf der Ebene AA, interferirend, geben eine Resultante mit der Lichtintensität

$$K^2 = J^2_{,} \,\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + J^2_{,,} \,\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta)$$
$$- 2\, J_{,}\, J_{,,} \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\vartheta - \gamma + \delta).$$

Der dritte Ausdruck ist negativ, weil hier der Phasenunterschied $\vartheta - \gamma + \delta \pm 180^\circ$ beträgt. Die Nullpunkte der Schwingungsphasen von $J_{,}$ und $J_{,,}$ befinden sich nach der Annahme auf der Seite von F und G,; bei der Uebertragung auf B B, fallen sie auf die nämliche Seite und der Phasenunterschied wird nicht geändert. Bei der Uebertragung auf A A, dagegen trifft der Nullpunkt für $J_{,}$ von der Lage F in die Lage A, derjenige für $J_{,,}$ von G, nach A,. Auf den Nullpunkt A bezogen ändert $J_{,,}$ seine Phase um 180° und der Phasenunterschied wird $\gamma - \vartheta + \delta \pm 180^\circ$. Werden für $J_{,}$, $J_{,,}$, ϑ und γ die Werthe eingeführt und die Reduktion vorgenommen, so erhält man

$$K^2 = 1 - \tfrac{1}{2} \,\mathrm{Sin}^2 2\eta \,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \tfrac{1}{2} \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2\delta \,[\mathrm{Cos}\,2\eta - \mathrm{Cos}(4\varepsilon + 2\eta)].\ ^{1}$$

---

und die Lichtintensität

$$J^2 = J_{,}^2 + J^2_{,,} + 2\, J_{,}\, J_{,,} \,\mathrm{Cos}(\delta - \vartheta).$$

Diese Formel wird am leichtesten so umgebildet, dass man für $\mathrm{Cos}(\delta - \vartheta)$ setzt $\mathrm{Cos}\,\delta \,\mathrm{Cos}\,\vartheta + \mathrm{Sin}\,\delta \,\mathrm{Sin}\,\vartheta$ und dafür sowie für $J_{,}$ und $J_{,,}$ die Werthe einführt. Man hat dann

$$\begin{aligned}
J^2 = {} & \mathrm{Sin}^2\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Cos}^2\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta) \\
& + 2 \,\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Sin}^2\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta) \\
& + \mathrm{Cos}^2\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) - 2 \,\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}\,2\delta \\
& + 2\,[\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Sin}\,\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Sin}\,\eta \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta)]\,[\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\eta \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}\,\delta \\
& - \mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}\,\delta \,\mathrm{Cos}\,2\delta - \mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\eta \,(\mathrm{Sin}\,\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Sin}\,\delta \,\mathrm{Sin}\,2\delta]
\end{aligned}$$

Die Reduction ergibt übereinstimmend mit dem oben auf anderm Wege gewonnenen Resultate

$$J^2 = \tfrac{1}{2} \,\mathrm{Sin}^2 2\eta \,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2} \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2\delta \,[\mathrm{Cos}\,2\eta - \mathrm{Cos}(4\varepsilon + 2\eta)].$$

(1) Wenn man die Componenten bis in das obere Prisma gesondert verfolgt, so hat man auf der Schwingungsebene A A, die Strahlen ro, rq, rn und rp. Wird der Phasennullpunkt auf der Seite von A angenommen und die Phase der Componente ro (welche durch eine Ebene langsamerer und durch eine solche schnellerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit gegangen ist) $= \chi$ gesetzt, so ist die Phase von rq $= \chi - \delta$, die von rn $= \chi + \delta$ und die von rp $= \chi + 180^\circ$. Lässt man nun die Componenten ro und rp, ferner rq und rn interferiren, so beträgt die Vibrationsintensität der Resultante von ro und rp

$$\begin{aligned}
J_{,} &= \sqrt{(ro)^2 + (rp)^2 - 2\, ro \,.\, rp} \\
&= \sqrt{\mathrm{Cos}^2\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Sin}^2\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta) - 2 \,\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Sin}^2\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta)}.
\end{aligned}$$

Die Vibrationsintensität des aus rq und rn resultirenden Strahles ist

$$\begin{aligned}
J_{,,} &= \sqrt{(rn)^2 + (rq)^2 + 2\, rn \,.\, rq \,\mathrm{Cos}\,2\delta} \\
&= \sqrt{\mathrm{Sin}^2\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}^2(\varepsilon + \eta) + \mathrm{Cos}^2\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Cos}^2(\varepsilon + \eta) + 2 \,\mathrm{Sin}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}\,\varepsilon \,\mathrm{Cos}^2\eta \,\mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta) \,\mathrm{Cos}\,2\delta}.
\end{aligned}$$

Der Phasenunterschied zwischen $J_{,}$ und dem ersten interferirenden Strahl ro ist Null; derjenige zwischen $J_{,,}$ und dem ersten interferirenden Strahl rn ist ϑ, vorausgesetzt dass

Dieser Ausdruck gibt also die Menge des im obern Prisma verschwindenden Lichtes. Vergleicht man denselben mit der Lichtmenge, die ins Auge gelangt (J^2 auf Pag. 41), so ist sogleich klar, dass beide zusammen = 1 sind, d. h. dass die Summe genau der Lichtintensität entspricht, welche von dem polarisirenden Prisma geliefert wird. — Die bisher durchgeführte Berechnung von J^2 und K^2 stützt sich auf die in Fig. 36 gegebene Construction. Sie gilt aber auch für jede andere Construction, d. h. für jede andere Stellung der Schwingungsebenen der Objecte zu den Ebenen der beiden Polarisationsprismen. Dabei ist es, wie ich früher zeigte (Pag. 25), von allgemeiner Gültigkeit, dass von den 4 Componenten zweier rechtwinklig polarisirter Strahlen auf einem andern Axensystem 3 auf die nämliche, 1 auf die entgegengesetzte Seite fällt oder mit andern Worten, dass 3 ihren Phasenunterschied behalten, 1 ihn um 180° ändert. Dies geschieht bei der Uebertragung von C C, und D D, auf F F, und G G, und bei der Uebertragung von F F, und G G, auf A A, und B B,. Die Ausgangspunkte für die Phasen können beliebig angenommen werden; sie müssen aber in gleicher Weise, wie die Componenten, auf ein anderes Axensystem übertragen werden. Ob die Resultante nach der einen oder andern Seite falle, ist gleichgültig, da ihre Wirkung immer in dem Phasenunterschied gegeben ist. — Es ist ferner noch kaum nöthig zu bemerken, dass die Winkel (ε und η) zwischen der Abscisse (B B,) und den beiden homologen Schwingungsebenen (C C, und FF,) wie es für Fig. 36 geschehen ist, auch bei jeder andern Construction immer positiv d. h. in der gleichen Richtung genommen werden müssen (1). Wenn man einen dieser Winkel in entgegengesetzter Richtung abliest oder wenn man ε und η durch die heterologen (statt durch die homologen) Schwingungsebenen der beiden Körper bestim-

---

die Nullpunkte von J, und J,, sich auf der Seite von A befinden. Man hat nun für die Bestimmung von ϑ die Formeln

$$\text{Sin}\,\vartheta = \frac{rq\,.\,\text{Sin}\,2d}{J_{,,}} = \frac{\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Sin}\,2\,\delta}{J_{,,}}.$$

$$\text{Cos}\,\vartheta = \frac{rn + rq\,.\,\text{Cos}\,2\,\delta}{J_{,,}} = \frac{\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Sin}\,(\varepsilon+\eta) + \text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,2\,\delta}{J_{,,}}.$$

Die Phase von J, ist $\varkappa = \chi$. die von J,, sei λ; die Differenz zwischen beiden ist $= \chi - \lambda = \vartheta - \delta$ (weil $\vartheta = \chi + \delta - \lambda$). Die Lichtintensität des aus den Componenten ro, rq, rn und rp resultirenden Strahls ist also

$$\begin{aligned} K^2 = J^2_{,} + J^2_{,,} + 2\,J_{,}\,J_{,,}\,\text{Cos}\,(\vartheta-\delta) = {} & \text{Cos}^2\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Sin}^2(\varepsilon+\eta) \\ & + \text{Sin}^2\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Cos}^2(\varepsilon+\eta) - 2\,\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Sin}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta) \\ & + \text{Sin}^2\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}^2(\varepsilon+\eta) + \text{Cos}^2\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Cos}^2(\varepsilon+\eta) \\ & + 2\,\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,2\,\delta \\ & + 2\,[\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Sin}\,\eta\,\text{Sin}\,(\varepsilon+\eta) - \text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Sin}\,\eta\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)]\,[\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Sin}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,\delta \\ & + \text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,\delta\,\text{Cos}\,2\,\delta + \text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\eta\,\text{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\text{Sin}\,\delta\,\text{Sin}\,2\delta] \\ = {} & 1 - \tfrac{1}{2}\,\text{Sin}^2 2\,\eta\,(1-\text{Cos}\,\delta) - \tfrac{1}{2}\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}^2\delta\,[\text{Cos}\,2\,\eta - \text{Cos}\,(4\,\varepsilon+2\,\eta)] \end{aligned}$$

(1) Um diess anschaulich zu machen, mögen noch die beiden Constructionen in Fig. 29 und 25 als Beispiele dienen. In Fig. 29 folgt auf BB, (von B ausgehend) zuerst FF, dann CC,, in Fig. 25 zuerst GG, dann DD,.

Wenn man die Interferenz erst im obern Prisma (auf der Ebene BB,) eintreten lässt, so hat man für die 4 Strahlen in Fig. 29 folgende Phasen. Beim Austritte aus den Ebenen men wollte, so würde man für die Intensität des ins Auge gelangenden Lichtstrahls andere Formeln erhalten.

---

des ersten Objectes CC, und DD, ist die Phase von rc oder φ (rc) $= \chi + \delta$ und φ (rd) $= \chi$, wenn die Ausgangspunkte sich übereinstimmend mit A auf der Seite von C und D befinden. Die beiden Componenten von rc sind re und rg; sie haben anfänglich die gleiche Phase wie rc, nämlich $\chi + \delta$. Nachdem sie durch das zweite Object hindurchgegangen, ist die Phase von re oder φ (re) $= 2\chi + 2\delta$ und φ (rg) $= 2\chi + \delta$, wenn die Nullpunkte der Oscillationen entsprechend C auf der Seite von F und G angenommen werden. rf und rh befinden sich ursprünglich in der Phase χ, wie der sie erzeugende Strahl rd, wenn die Ausgangspunkte von D auf G und F, übertragen werden. Beim Austritt aus dem zweiten Object ist φ (rf) $= 2\chi + \delta$ und φ (rh) $= 2\chi$. Wenn aber rf auf den Nullpunkt F bezogen wird, wie diess mit re geschehen ist, so ist φ (rf) $= 2\chi + \delta + 180^0$. Bei der Uebertragung auf die Schwingungsebene des obern Prismas BB, fällt der Nullpunkt von F auf die Seite von B, von D auf B,; um alle Componenten auf den gleichen Ausgangspunkt B zu beziehen, müssen daher die zwei Strahlen der Schwingungsebene DD, ihre Phasen um 180° verändern. Es ist somit

$$\varphi(\text{ri}) = \varphi(\text{re}) = 2\chi + 2\delta;\ \varphi(\text{rk}) = \varphi(\text{rf}) = 2\chi + \delta \pm 180^0;$$

$$\varphi(\text{rl}) = \varphi(\text{rg}) \pm 180^0 = 2\chi + \delta \pm 180^0;\ \varphi(\text{rm}) = \varphi(\text{rh}) \pm 180^0 = 2\chi \pm 180^0.$$

Wenn man überall 2χ weglässt, so hat man

$$\varphi(\text{ri}) = 2\delta;\ \varphi(\text{rk}) = \delta \pm 180^0;\ \varphi(\text{rl}) = \delta \pm 180^0;\ \varphi(\text{rm}) = \pm 180^0.$$

Die Phasendifferenz zwischen rk und rl ist demnach o und diejenige zwischen ri und rm ist $2\delta + 180^0$. Daraus folgt

$$J_{,}^2 = (\text{rl})^2 + (\text{rk})^2 + 2\,\text{rl}\,.\,\text{rk} = \text{Sin}^2\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Sin}^2(\varepsilon+\eta) + \text{Cos}^2\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Cos}^2(\varepsilon+\eta)$$
$$+ 2\,\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Sin}^2\eta\,\text{Sin}(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}(\varepsilon+\eta);$$

$$J_{,,}^2 = (\text{ri})^2 + (\text{rm})^2 - 2\,\text{ri}\,.\,\text{rm}\,\text{Cos}\,2\delta = \text{Sin}^2\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Cos}^2(\varepsilon+\eta) + \text{Cos}^2\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}^2(\varepsilon+\eta.$$
$$+ 2\,\text{Sin}\,\varepsilon\,\text{Cos}\,\varepsilon\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}(\varepsilon+\eta)\,\text{Cos}\,2\delta)$$

Der Phasenunterschied zwischen dem resultirenden Strahl $J_{,}$ und einer seiner Componenten (rl oder rk) ist 0, weil φ (rl) $- \varphi$ (rk) $= 0$ ist. φ (ri) $- \varphi(J_{,,})$ sei ϑ; so ist, weil φ (rl) $= \delta \pm 180^0$ und φ (ri) $= 2\delta$, $\varphi(J_{,}) - \varphi(J_{,,}) = \vartheta - \delta \pm 180^0$.

Man hat für die Interferenz von $J_{,}$ und $J_{,,}$ demnach $J^2 = J_{,}^2 + J_{,,}^2 - 2\,J_{,}J_{,,}\,\text{Cos}(\vartheta - \delta)$. Der Werth von ϑ ist bestimmt durch die Formeln

$$\text{Sin}\,\vartheta = \frac{-\text{rm}.\text{Cos}\,2\delta}{J_{,,}} \text{ und } \text{Cos}\,\vartheta = \frac{\text{ri} - \text{rm}.\text{Cos}\,2\delta}{J_{,,}}$$

Wenn die Rechnung in der oben angegebenen Weise ausgeführt wird, so erhält man

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\text{Sin}^2 2\eta\,(1 - \text{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\text{Cos}^2\eta\,\text{Sin}^2\delta\,[\text{Cos}\,2\eta - \text{Cos}(4\varepsilon + 2\eta)]$$

In Fig. 25 folgt auf BB,, von B ausgehend, zuerst GG, dann DD,. Man erhält für die 4 auf die Ebene des obern Prisma's übertragenen 4 Componenten folgende Phasendifferenzen. Beim Austritt aus dem ersten Object ist φ (rc) $= \chi + \delta$ und φ (rd) $= \chi$, wenn die Nullpunkte auf der Seite von C und D sich befinden. Beim Austritt aus dem zweiten Object ist φ(re) $= 2\chi + 2\delta$; φ(rg) $= 2\chi + \delta$; φ (rf) $= 2\chi + \delta$ und φ (rh) $= 2\chi + 180^0$; wenn die Ausgangspunkte der Schwingungen auf der Seite von F und G, liegen. Wird beim Uebertragen auf BB, der Ausgang wie gewöhnlich in B angenommen und überall 2χ weggelassen, so hat man φ (ri) $= 2\delta + 180^0$; φ (rl) $= \delta \pm 180$; φ (rk) $= \delta \pm 180^0$ und φ (rm) $= 0$.

Die Phasendifferenz zwischen rl und rk ist Null, diejenige zwischen ri und rm beträgt $2\delta \pm 180^0$. Somit ist

b. Veränderung der Lichtintensität, wenn zwei festverbundene gleiche Körper um die verticale Axe gedreht werden.

Zwei über einander liegende doppelbrechende Körper von gleicher Beschaffenheit und gleicher Dicke senden also dem Beobachter eine Lichtmenge zu, die für jeden einzelnen Strahl ausgedrückt wird durch

$$J^2 = \tfrac{1}{4}\,\mathrm{Sin}^2\, 2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,(\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)).$$

Diese Formel zeigt uns, dass die Intensität abhängig ist von drei veränderlichen Grössen, 1) von dem Winkel (η), den die homologen Schwingungsebenen der beiden Körper unter einander bilden, 2) von der Neigung (ε) dieser Schwingungsebenen zu den Ebenen der beiden Prismen und 3) von dem Phasenunterschied (δ), den 2 polarisirte Lichtstrahlen erlangt haben, nachdem sie durch einen der Körper hindurch gegangen sind. Es frägt sich nun, welche Werthe diese

---

$$J_{,}^2 = (\mathrm{rl})^2 + (\mathrm{rk})^2 + 2\,\mathrm{rl}\,.\,\mathrm{rk} = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon+\eta) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta\,\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon+\eta)$$
$$+ 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon+\eta)\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon+\eta).$$
$$J_{,,}^2 = (\mathrm{ri})^2 + (\mathrm{rm})^2 - 2\,\mathrm{ri}\,.\,\mathrm{rm}\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon+\eta) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon+\eta)$$
$$- 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon+\eta)\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon+\eta)\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta.$$

$\varphi\,(\mathrm{rl}) - \varphi\,(J_{,}) = 0$; $\varphi\,(\mathrm{ri}) - \varphi\,(J_{,,}) = \vartheta$; $\varphi\,(\mathrm{ri}) - \varphi\,(\mathrm{rl}) = \delta$. Daher $\varphi\,(J_{,}) - \varphi\,(J_{,,}) = \vartheta - \delta$; wobei $\mathrm{Cos}\,\vartheta = \dfrac{\mathrm{ri} - \mathrm{rm}.\mathrm{Cos}\,2\,\delta}{J_{,,}}$ und $\mathrm{Sin}\,\vartheta = \dfrac{-\,\mathrm{rm}\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta}{J_{,,}}$. Man hat also

$$J^2 = J_{,}^2 + J_{,,}^2 + 2\,J_{,}\,J_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \delta)$$
$$= \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)].$$

Der Werth von J^2 (ebenso derjenige von K^2) ist also immer der nämliche, die Schwingungsebenen der beiden Objecte mögen jede beliebige Stellung zu den Ebenen der Prismen zeigen, vorausgesetzt, dass die Winkel (ε und η) positiv genommen werden. Liest man einen derselben in anderer Richtung ab, so erhält man natürlich eine andere Formel. Wenn z. B. in Fig. 29 der Winkel zwischen BB, und CC, (ε) in positiver Richtung, derjenige zwischen CC, und FF, in negativer Richtung genommen und mit $\eta_{,}$ bezeichnet wird, so hat man

$$J_{,}^2 = (\mathrm{rl})^2 + (\mathrm{rk})^2 + 2\,\mathrm{rl}\,.\,\mathrm{rk} = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon - \eta_{,}) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon - \eta_{,})$$
$$+ 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon - \eta_{,})\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon - \eta_{,});$$
$$J_{,,}^2 = (\mathrm{ri})^2 + (\mathrm{rm})^2 - 2\,\mathrm{ri}\,.\,\mathrm{rm}\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon - \eta_{,}) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon - \eta_{,})$$
$$- 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon - \eta_{,})\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon - \eta_{,})\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta;$$
$$J^2 = J_{,}^2 + J_{,,}^2 - 2\,J_{,}\,J_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \delta)$$
$$= \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta_{,}\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,}\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta_{,} - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon - 2\,\eta_{,})]$$

Die gleiche Formel ergibt sich, wenn man für irgend eine andere Structur ε in positiver, η in negativer Richtung abliest, wenn man also z. B. in Fig. 25 $\eta_{,}$ = C r F oder in Fig. 36 $\eta_{,}$ = C r F, nimmt.

Es versteht sich, dass man ebenfalls andere Werthe für J^2 bekommt, wenn man die Winkel zwischen heterologen Schwingungsebenen (zwischen BB,, CC, und GG, oder zwischen BB,, DD, und FF,) in Rechnung bringt. Werden z. B in Fig 29 ε und $\eta_{,,}$ genommen, so hat man

$$J_{,}^2 = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Cos}^2\,(\varepsilon + \eta_{,,}) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon + \eta_{,,})$$
$$- 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta_{,,})\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta_{,,});$$
$$J_{,,}^2 = \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Sin}^2\,(\varepsilon + \eta_{,,}) + \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta_{,,})$$
$$+ 2\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Sin}\,(\varepsilon + \eta_{,,})\,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \eta_{,,})\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta;$$
$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta_{,,}\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,\eta_{,,}\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta_{,,} - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta_{,,})].$$

veränderlichen Grössen annehmen müssen, um ein Maximum oder Minimum von Helligkeit zu geben.

Wenn zwei Crystallplättchen oder Zellmembranen fest mit einander verbunden sind und um die senkrechte Axe gedreht werden, so bleiben η und δ constant, während ε sich ändert. Für diesen Fall ist offenbar J^2 ein Grösstes oder Kleinstes, wenn der Ausdruck [$\mathrm{Cos}\ 2\ \eta - \mathrm{Cos}\ (4\ \varepsilon + 2\ \eta)$] ein Grösstes oder Kleinstes ist. Man hat somit ein Maximum, wenn $- \mathrm{Cos}\ (4\ \varepsilon + 2\ \eta)$ den höchsten Werth ($+ 1$) erreicht; diess tritt dann ein, wenn $4\ \varepsilon + 2\ \eta = 180^\circ$, also $\varepsilon = 45^\circ - {}^1/_2\ \eta$, indem $\mathrm{Cos}\ 2\ \eta - \mathrm{Cos}\ (4\ \varepsilon + 2\ \eta)$ jetzt $= \mathrm{Cos}\ 2\ \eta + 1$. Für das Minimum dagegen muss $4\ \varepsilon + 2\ \eta = 0$ oder 360°, also $\varepsilon = 90^\circ - {}^1/_2\ \eta$ oder $= - {}^1/_2\ \eta$ sein, indem $\mathrm{Cos}\ 2\ \eta - \mathrm{Cos}\ (4\ \varepsilon + 2\ \eta)$ nun $= \mathrm{Cos}\ 2\ \eta - 1$. Das heisst aber nichts anderes als: Man hat die grösste Lichtintensität, wenn die Medianlinie zwischen je zwei homologen Schwingungsebenen (einerseits zwischen $C\,C_1$ und $F\,F_1$, anderseits zwischen $D\,D_1$ und $G\,G_1$) mit der Diagonale zwischen den Ebenen der beiden Prismen zusammentrifft; man hat dagegen die geringste Lichtintensität, wenn jene Mediane mit einer der Ebenen der Prismen übereinstimmt. Oder um einen kürzern Ausdruck anzuwenden, die diagonale Stellung der Mediane gibt das Maximum der Helligkeit, nämlich

$$\begin{aligned} J^2 &= {}^1/_2\ \mathrm{Sin}^2\ 2\ \eta\ (1 - \mathrm{Cos}\ \delta) + {}^1/_2\ \mathrm{Cos}^2\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \delta\ (\mathrm{Cos}\ 2\ \eta + 1) \\ &= {}^1/_2\ \mathrm{Sin}^2\ 2\ \eta\ (1 - \mathrm{Cos}\ \delta) + \mathrm{Cos}^4\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \delta \end{aligned}$$

Die orthogonale Stellung gibt das Minimum, nämlich

$$\begin{aligned} J^2 &= {}^1/_2\ \mathrm{Sin}^2\ 2\ \eta\ (1 - \mathrm{Cos}\ \delta) + {}^1/_2\ \mathrm{Cos}^2\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \delta\ (\mathrm{Cos}\ 2\ \eta - 1) \\ &= {}^1/_2\ \mathrm{Sin}^2\ 2\ \eta\ (1 - \mathrm{Cos}\ \delta) - \mathrm{Cos}^2\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \delta \end{aligned}$$

c) Veränderung der Lichtintensität, wenn der Winkel zwischen den beiden gleichen Körpern sich ändert.

Die zweite Frage betrifft die Intensität eines Lichtstrahls, wenn die Schwingungsebenen der beiden doppelbrechenden Körper ihren Winkel (η) ändern. Die allgemeine Lösung des Problems, wie sich J^2 in der obigen allgemeinen Formel (Pag. 45) verhalte, wenn η grösser oder kleiner wird, und welcher Werth von η ein Maximum oder Minimum ergebe, ist ohne practische Bedeutung. Nur für zwei ganz bestimmte Werthe von ε, d. h. für zwei ganz bestimmte Stellungsverhältnisse der Schwingungsebenen, nämlich für die diagonale und orthogonale Stellung der Mediane, gewährt es Interesse, die veränderlichen Werthe von η zu studiren.

Untersuchen wir zuerst den Fall, wo die Schwingungsmediane diagonal gestellt ist, wo also $\varepsilon = 45^\circ - \frac{1}{2}\ \eta$ oder $\varepsilon = 135^\circ - \frac{1}{2}\ \eta$ oder $\varepsilon = -45^\circ + \frac{1}{2}\ \eta$, so ist die Lichtintensität (Pag. 46)

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\ \mathrm{Sin}^2\ 2\ \eta\ (1 - \mathrm{Cos}\ \delta) + \tfrac{1}{2}\ \mathrm{Cos}^2\ \eta\ \mathrm{Sin}^2\ \delta\ (\mathrm{Cos}\ 2\ \eta + 1).$$

In dieser Formel kann η alle möglichen Werthe zwischen 0 und 180° annehmen. Es ist aber anschaulicher, wenn wir den Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen immer kleiner als 90° nehmen, wozu wir leicht gelangen, indem wir η nach Bedürfniss bald positiv, bald negativ ablesen. J^2 wird wird dadurch nicht geändert. Dasselbe erreicht, wenn δ zwischen 0 und 90° oder zwischen 270° und 360° beträgt, sein Maximum für $\eta = 0$, sein Minimum für $\eta = \pm 90°$; das Maximum ist $J^2 = \mathrm{Sin}^2\,\delta$, das Minimum $J^2 = 0$. Wenn dagegen δ zwischen 90° und 270° beträgt, so gewinnt J^2 sein Maximum für einen Werth von η, der zwischen 0 und $\pm$ 45° liegt; bei $\delta = 90°$ und 270° ergibt sich die grösste Helligkeit für $\eta = 0$; steigt δ über 90° oder sinkt es unter 270°, so wird das Maximum der Lichtintensität durch successiv höhere Werthe von η in positivem oder negativem Sinne hervorgebracht; wenn $\delta = 180°$, so hat man das Maximum für $\eta = \pm 45°$. In diesen Fällen beträgt das Maximum immer 1, die ganze vom untern Prisma gelieferte Lichtmenge. Wenn δ zwischen 90° und 270° schwankt, so hat man 2 Minima der Helligkeit; das eine ergibt sich für $\eta = \pm 90°$; es beträgt immer 0. Das andere ist ein relatives Minimum; es ergibt sich für $\eta = 0$ und nimmt, wenn δ von 90° auf 180° steigt, allmälig von 1 bis 0 ab, und ebenso, wenn δ von 180° auf 270° steigt, allmälig von 0 auf 1 zu. Bei $\delta = 90°$ und $\delta = 270°$ geht also dieses relative Minimum in das Maximum über. Rücksichtlich des mathematischen Beweises ist die Anmerkung nachzusehen.[1]

---

(1) Man hat ein Maximum oder Minimum für J^2, wenn für die Variable (η) das Differenzial der ganzen Funktion Null wird (d. h. wenn bei fortwährender Steigerung von η die Zunahme oder Abnahme des ganzen Ausdrucks aufhört). Zur Abkürzung werde $\frac{1 - \mathrm{Cos}\,\delta}{2} = a$ und $\frac{\mathrm{Sin}^2\,\delta}{2} = b$ gesetzt, dann ist

$$J^2 = a\,\mathrm{Sin}^2\,2\eta + b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,(\mathrm{Cos}\,2\eta + 1)$$

und die Bedingung für ein Maximum oder Minimum besteht in der Gleichung

$$\frac{d\left[a\,\mathrm{Sin}^2\,2\eta\right] + d\left[b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,(\mathrm{Cos}\,2\eta + 1)\right]}{d\eta} = 0$$

Nach Ausführung der Differenzirung hat man

$$2a\,\mathrm{Sin}\,4\eta - 2b\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}^2\,\eta - b\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}\,2\eta - b\,\mathrm{Sin}\,2\eta = 2a\,\mathrm{Sin}\,4\eta - 4b\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}^2\,\eta.$$

Dieses Differenzial ist einmal 0, wenn $\eta = 0$, wenn $\eta = 90°$, und wenn $2a\,\mathrm{Sin}\,4\eta = 4b\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}^2\eta$ oder was das Nämliche ist, wenn $\frac{a}{b} = \frac{2\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Sin}\,4\eta} = \frac{\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\eta}$. Ob diese Gleichung ein Maximum oder ein Minimum anzeige, muss durch das zweite Differenzial entschieden werden, indem ein positiver Werth desselben ein Minimum, ein negativer dagegen ein Maximum bedingt.

$$f_2 = \frac{d\left[2a\,\mathrm{Sin}\,4\eta\right] - d\left[4b\,\mathrm{Sin}\,2\eta\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\right]}{d\eta} = 8a\,\mathrm{Cos}\,4\eta + 4b\,\mathrm{Sin}^2\,2\eta - 8b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Cos}\,2\eta.$$

In diese zweite Funktion müssen nun die vorhin für das erste Differenzial erhaltenen Werthe eingeführt werden, um zu erfahren, ob dieselbe dadurch positiv oder negativ werde. Ist $\eta = 0$, so nimmt das zweite Differenzial die Form $8a - 8b$ an, oder wenn man für a und b die Werthe setzt, $4(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - 4\,\mathrm{Sin}^2\,\delta$. Dieser Ausdruck ist — und zeigt ein Maximum an, wenn δ zwischen 0 und 90° oder zwischen 270° und 360° beträgt; er ist dagegen + und ein Minimum andeutend, wenn δ zwischen 90° und 180° oder zwischen 180° und 360° liegt.

Ist $\eta = 90°$, so hat man für das zweite Differenzial $8a = 4(1 - \mathrm{Cos}\,\delta)$. Dasselbe ist immer positiv und bedingt daher für alle Werthe von δ ein Minimum.

Bei orthogonaler Stellung der Schwingungsmediane, wo also $\varepsilon = 90^\circ - \frac{1}{2}\eta$ oder $\varepsilon = -\frac{1}{2}\eta$ oder $\varepsilon = 180^\circ - \frac{1}{2}\eta$, beträgt die Helligkeit (Pag. 46)

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,(\mathrm{Cos}\,2\,\eta - 1).$$

Hier erreicht die Lichtintensität immer ihr Maximum, wenn $\eta = + 45^\circ$, das Minimum, wenn $\eta = 0$ und $\eta = + 90^\circ$; das Maximum ist $J^2 = \frac{1}{2}(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \frac{1}{4}\,\mathrm{Sin}^2\,\delta$, das Minimum ist $J^2 = 0$.

Die folgenden Tabellen enthalten die Berechnung der Lichtintensität für die successiven Werthe von η (von 5 zu 5 Grad), wobei η positiv oder negativ sein kann.

A. Lichtintensität bei diagonaler Stellung der Schwingungsmediane ($\varepsilon = 45^\circ - \frac{1}{2}\eta$ oder $135^\circ - \frac{1}{2}\eta$ oder $225^\circ - \frac{1}{2}\eta$).

η	Werthe von J^2
0	$\mathrm{Sin}^2\,\delta$
5°	$\frac{1}{2}\{0{,}030154\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}969725\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
10°	$\frac{1}{2}\{0{,}11695\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}881208\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
15°	$\frac{1}{2}\{0{,}250000\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}7410246\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
20°	$\frac{1}{2}\{0{,}41316\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}5594486\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
25°	$\frac{1}{2}\{0{,}586824\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}349399\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
30°	$\frac{1}{2}\{0{,}750000\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 1{,}125000\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
35°	$\frac{1}{2}\{0{,}88302\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 0{,}900509\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
40°	$\frac{1}{2}\{0{,}96985\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + 0{,}688726\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$

Ist endlich $\frac{a}{b} = \frac{\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta}$ oder $a = \frac{b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta}$ und führt man diesen Werth in das zweite Differenzial ein, so nimmt es die Form an

$$\frac{8\,b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Cos}\,4\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta} + 4\,b\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta - 8\,b\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Cos}\,2\,\eta$$

$$= 4\,b\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\left[(1 - \frac{2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta}\right] = \frac{-4\,b\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta} = \frac{-2\,\mathrm{Sin}^2\delta\,\mathrm{Sin}^2 2\,\eta.}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta}$$

Das Zeichen dieses Werthes hängt von $2\,\eta$ ab; es ist negativ und deutet auf ein Maximum, wenn η nicht über 45° steigt, positiv und ein Minimum anzeigend, wenn η grösser als 45°. Die Bedingungsgleichung $\frac{a}{b} = \frac{1 - \mathrm{Cos}\,\delta}{\mathrm{Sin}^2\,\delta} = \frac{\mathrm{Cos}^2\,\eta}{\mathrm{Cos}\,2\,\eta}$ muss uns zeigen, für welche Werthe von δ die Maxima und Minima möglich sind und welche Werthe von η ihnen entsprechen. Durch Umformung können wir obiger Gleichung die einfachere Gestalt geben $\frac{1}{1 - \mathrm{Cos}\,\delta} = \mathrm{Cos}^2\,\eta$. Wenn δ zwischen 0 und 90° oder zwischen 270° und 360° beträgt, so wird die Gleichung unmöglich, denn der erste Ausdruck ist > 1. Wenn $\delta = 90^\circ$ oder 270°, so ist $\eta = 0$; wenn $\delta = 180^\circ$, so wird der erste Ausdruck $= \frac{1}{2}$ und also $\eta = 45^\circ$. Sowie δ von 90° auf 180° steigt oder von 270° auf 180° sinkt, so erhebt sich η von 0 auf 45°.

η	Werthe von J^2
45°	$\frac{1}{2}\{1{,}00000\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}500000\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
50°	$\frac{1}{2}\{0{,}96985\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}341415\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
55°	$\frac{1}{2}\{0{,}88302\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}216469\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
60°	$\frac{1}{2}\{0{,}75000\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}125000\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
65°	$\frac{1}{2}\{0{,}586824\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}063802\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
70°	$\frac{1}{2}\{0{,}41316\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}027362\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
75°	$\frac{1}{2}\{0{,}250000\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}008974\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
80°	$\frac{1}{2}\{0{,}11695\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}001819\ \mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
85°	$\frac{1}{2}\{0{,}030154\ (1-\mathrm{Cos}\,\delta)+0{,}0001155\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\}$
90°	0

B. Lichtintensität bei diagonaler Stellung der Schwingungsmediane für bestimmte Werthe von δ.

η	Wenn $\delta = 45°$ oder 315°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 60°$ oder 300°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 90°$ oder 270°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 120°$ oder 240°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 135°$ oder 225°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 180°$, so ist $J^2 =$
0	0,500000	0,750000	1,000000	0,750000	0,500000	0,000000
5°	0,496846	0,746189	0,999939	0,761265	0,518168	0,030154
10°	0,48743	0,734689	0,999079	0,793165	0,570133	0,11695
15°	0,471868	0,715386	0,995512	0,840386	0,648645	0,250000
20°	0,450370	0,688087	0,986304	0,894667	0,742519	0,41316
25°	0,423278	0,652722	0,968111	0,946133	0,838225	0,586824
30°	0,391084	0,609375	0,937500	0,98125	0,921415	0,750000
35°	0,354443	0,558447	0,891764	0,999956	0,978832	0,88302
40°	0,31421	0,500740	0,829288	0,98566	0,999999	0,96985
45°	0,271446	0,437500	0,750000	0,93750	0,97855	1,000000
50°	0,227401	0,370503	0,655632	0,85542	0,913189	0,96985
55°	0,183432	0,301932	0,549744	0,743441	0,807822	0,88302
60°	0,141092	0,234375	0,437500	0,609375	0,671422	0,750000
65°	0,103029	0,170631	0,325313	0,464043	0,517976	0,586824
70°	0,067347	0,113557	0,220261	0,320137	0,359496	0,41316
75°	0,038855	0,065864	0,129487	0,190865	0,215632	0,250000
80°	0,017581	0,030072	0,059384	0,0884	0,100278	0,11695
85°	0,004445	0,007581	0,015135	0,022658	0,025767	0,030154
90°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Fig. 41 giebt die hieher gehörigen Intensitätscurven. Auf der Abszissenaxe sind die Werthe von η verzeichnet und auf den entsprechenden Punkten die Werthe der Intensitäten als Ordinaten aufgetragen. Ist $\delta = 45°$ oder $315°$, $\delta = 60°$ oder $300°$, $\delta = 90°$ oder $270°$, so besteht nur ein Maximum; dasselbe tritt ein für $\eta = 0$. Beträgt δ 120° oder 240°, so gibt es zwei Maxima der Intensität, eines für die Abszisse $\eta = 35° 14'$, das andere für $\eta = - 35° 14'$. Ebenso bestehen 2 Maxima, wenn $\delta = 135°$ oder $225°$, und zwar das eine für die Abszisse $\eta = 40° 4'$, das andere für $\eta = - 40° 4'$. Das relative Minimum tritt immer ein, wenn $\eta = 0$. — Die Figur zeigt nur die Hälfte jeder Intensitätscurve; die andere symmetrische Hälfte für die negativen Werthe der Abszissen ($\eta = 0 \ldots\ldots - 90°$) sollte sich auf der linken Seite der Figur anschliessen. Die positiven und negativen Werthe von η unterscheiden sich dadurch von einander, dass der Winkel in umgekehrter Richtung abgelesen wird (in Fig. 36 ist η positiv; in Fig 25 und 29 aber ist η negativ, insofern es kleiner als 90° genommen wird). — Wenn $\delta = 180°$, so zeigt die Intensitätscurve ein absolutes Minimum für die Abszisse $\eta = 0$. In diesem Falle zerfällt die Intensitätscurve in zwei, welche die Gestalt der Curven für einen einzigen doppelbrechenden Körper annehmen.

C. Lichtintensität bei orthogonaler Stellung der Schwingungsmediane ($\epsilon = 90° - \frac{1}{2}\eta$ oder $= - \frac{1}{2}\eta$ oder $= 180° - \frac{1}{2}\eta$).

η	Werthe von J^2
0	0
5°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}030154\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}015075\ \text{Sin}^2 \delta \}$
10°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}11695\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}058492\ \text{Sin}^2 \delta \}$
15°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}250000\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}1249954\ \text{Sin}^2 \delta \}$
20°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}41316\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}2065914\ \text{Sin}^2 \delta \}$
25°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}586824\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}293381\ \text{Sin}^2 \delta \}$
30°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}750000\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}375000\ \text{Sin}^2 \delta \}$
35°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}88302\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}441511\ \text{Sin}^2 \delta \}$
40°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}96985\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}484922\ \text{Sin}^2 \delta \}$
45°	$\frac{a^2}{2} \{ 1{,}00000\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}500000\ \text{Sin}^2 \delta \}$
50°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}96985\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}484905\ \text{Sin}^2 \delta \}$
55°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}88302\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}441511\ \text{Sin}^2 \delta \}$
60°	$\frac{a^2}{2} \{ 0{,}75000\ (1 - \text{Cos}\ \delta) - 0{,}375000\ \text{Sin}^2 \delta \}$

η	Werthe von J^2
65°	$\frac{v}{a}\left\{0{,}586824\,(1-\mathrm{Cos}\,\delta)-0{,}293418\,\mathrm{Sin}^2\delta\right\}$
70°	$\frac{v}{a}\left\{0{,}41316\,(1-\mathrm{Cos}\,\delta)-0{,}206538\,\mathrm{Sin}^2\delta\right\}$
75°	$\frac{v}{a}\left\{0{,}25000\,(1-\mathrm{Cos}\,\delta)-0{,}125000\,\mathrm{Sin}^2\delta\right\}$
80°	$\frac{v}{a}\left\{0{,}11695\,(1-\mathrm{Cos}\,\delta)-0{,}058489\,\mathrm{Sin}^2\delta\right\}$
85°	$\frac{v}{a}\left\{0{,}030154\,(1-\mathrm{Cos}\,\delta)=0{,}0150767\,\mathrm{Sin}^2\delta\right\}$
90°	0

D. Lichtintensität bei orthogonaler Stellung der Schwingungsmediane für bestimmte Werthe von δ.

η	Wenn $\delta = 45°$ oder 315°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 90°$ oder 270°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 135°$ oder 225°, so ist $J^2 =$	Wenn $\delta = 180°$, so ist $J^2 =$
0°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
5°	0,000647	0,007539	0,021969	0,030154
10°	0,002504	0,029229	0,085200	0,11695
15°	0,005363	0,062500	0,182139	0,250000
20°	0,008858	0,103284	0,301006	0,41316
25°	0,012585	0,146721	0,427533	0,586824
30°	0,016085	0,187500	0,546415	0,750000
35°	0,018937	0,220754	0,643327	0,88302
40°	0,020801	0,242464	0,706588	0,96985
45°	0,021446	0,250000	0,728553	1,00000
50°	0,020805	0,242464	0,706588	0,96985
55°	0,018937	0,220754	0,643327	0,88302
60°	0,016085	0,187500	0,546415	0,750000
65°	0,012585	0,146721	0,427533	0,586824
70°	0,008858	0,103284	0,301006	0,41316
75°	0,005363	0,062500	0,182139	0,250000
80°	0,002504	0,029229	0,085200	0,11695
85°	0,000647	0,007539	0,021969	0,030154
90°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

d. Veränderung der Lichtintensität, wenn die Dicke der beiden gleichen Körper sich ändert.

Drittens handelt es sich noch um die Frage, wie sich die Lichtintensität, welche zwei über einander liegende gleiche doppelbrechende Körper bei verschiedenen Grössen des Phasenunterschiedes δ verhalte. Es ist sogleich sichtbar, dass in der Formel (Pag. 45)

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]$$

der ganze Werth Null wird, wenn $\delta = 0$ oder $360°$. Es ist diess der Fall, welchen die Construction in Fig. 36 zeigt; die Vibrationsintensität rm ist gleich der Summe der Vibrationsintensitäten ri + rl + rk; und da beide gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung thätig sind, so heben sich ihre Wirkungen auf. Die Bestimmung, für welche andere Werthe des Phasenunterschiedes die grösste oder allenfalls noch einmal eine geringste Helligkeit eintrete, lässt sich nur durch die Differenzialrechnung ausführen. Betreffend die mathematische Auseinandersetzung verweise ich auf die Anmerkung.[1] Die Resultate lassen sich folgendermassen

---

(1) J^2 erreicht sein Maximum oder Minimum, wenn mit Rücksicht auf die Variable (δ) das Differenzial der ganzen Function Null wird. Setzen wir der Kürze halber $\frac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta = a$ und $\frac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)] = b$, so ist die Bedingungsgleichung für ein Maximum oder Minimum $\frac{d\,[a\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta)] + d\,[b\,\mathrm{Sin}^2\,\delta]}{d\,\delta} = 0$. Daraus hat man

$$\frac{a\,\mathrm{Sin}\,\delta\,.\,d\,\delta + 2\,b\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\delta\,.\,d\,\delta}{d\,\delta} = a\,\mathrm{Sin}\,\delta + 2\,b\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\delta = a\,\mathrm{Sin}\,\delta + b\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta = 0.$$

Diese Bedingung ist erfüllt, wenn $d = 0$, wenn $\delta = 180°$ und wenn $a\,\mathrm{Sin}\,\delta = -\,b\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta$ oder was das Nämliche ist, wenn $\mathrm{Cos}\,\delta = \frac{-a}{2\,b}$. Ob diese Werthe ein Maximum oder ein Minimum bedingen, muss das zweite Differenzial entscheiden. Gibt dasselbe einen negativen Werth, so besteht ein Maximum; ist es positiv, so hat man ein Minimum.

Das zweite Differenzial

$$f_2 = \frac{d\,(a\,\mathrm{Sin}\,\delta) + d\,(b\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta)}{d\,\delta} = \frac{a\,\mathrm{Cos}\,\delta.d\,\delta + 2\,b\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta.d\,\delta}{d\,\delta} = a\,\mathrm{Cos}\,\delta + 2\,b\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta$$

$$= \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,\mathrm{Cos}\,\delta + \mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]\ \mathrm{Cos}\,2\,\delta.$$

In diese Formel sind nun die vorhin für das erste Differenzial bestimmten 3 möglichen Werthe einzuführen, um zu sehen, ob sie im zweiten Differenzial einen positiven oder negativen Ausschlag geben. — Was den ersten ($\delta = 0$) betrifft, so geht schon aus der allgemeinen Intensitätsformel hervor, dass in diesem Fall J^2 Null wird und somit ein Minimum besteht. — Es kann zweitens $\delta = 180°$ sein; dann hat man

$$f_2 = -\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta + \mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)].$$

Da $\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta$ und $\mathrm{Cos}^2\,\eta$ als zweite Potenzen positive Werthe darstellen, so ist $f_2 = +$, wenn $\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)$ positiv ist und wenn $\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)] > \frac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta$; dagegen ist $f_2 = -$, wenn unter den nämlichen Verhältnissen $\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)] < \frac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta$ oder wenn $\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)$ eine negative Grösse ist. Da nun alle 3 Fälle möglich sind, so kann, je nach der Grösse von η und ε, bei einem Phasenunterschied $\delta = 180°$ bald ein Maximum, bald ein relatives Minimum von Helligkeit eintreten.

Die dritte Möglichkeit für ein Maximum oder Minimum besteht dann, wenn $\mathrm{Cos}\,\delta = \frac{-a}{2\,b}$ $= \frac{-\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta}{2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]}$. Ob das Eine oder das Andere der Fall sei, hängt von der Grösse von η und ε ab. η kann alle Werthe zwischen 0 und 180° oder, was das Nämliche ist, zwischen − 90° und + 90° annehmen. Ich will nur den Fall erörtern, dass η zwischen 0 und +90° schwankt. Die Betrachtung der andern Möglichkeit (η zwischen 0 und − 90°

zusammenfassen. Bei einer Phasendifferenz $\delta = 0$ oder 360° ist die Lichtintensität immer Null. Wenn der Winkel (η) zwischen den gleichen Schwingungs-

---

oder zwischen 90° und 180°) gibt dasselbe Resultat. Es sei zuerst $\eta > 45^\circ$ oder $\eta = 45^\circ + u$. Der positive oder negative Ausschlag von f_2 wird nicht gestört, wenn durch $\mathrm{Cos}^2\,\eta$ dividirt wird, da diese Grösse als zweite Potenz immer positiv ist; und man hat für das zweite Differenzial $-2\,\mathrm{Sin}^2\,\eta + \mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta) = -2\,\mathrm{Sin}^2\,(45^\circ + u) + \mathrm{Cos}\,(90^\circ + 2\,u) - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 90^\circ + 2\,u) = -1 - 2\,\mathrm{Sin}\,u\,\mathrm{Cos}\,u - \mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u) = -1 - 2\,\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u)$ Es ist einleuchtend, dass dieser ganze Ausdruck für alle Werthe von u und ε eine negative Grösse gibt, denn $\mathrm{Sin}\,2\,u$ ist immer positiv (weil $u < 45^\circ$) und $1 + 2\,\mathrm{Sin}\,2\,u > \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u)$. Man erhält das nämliche Resultat, wenn $\eta = 45^\circ$ gesetzt wird; es ergibt sich nämlich für das zweite Differenzial $-1 + \mathrm{Sin}\,4\,\varepsilon$, welcher Ausdruck ebenfalls negativ ist. Es kann also, wenn $\eta = 45^\circ$ und darüber beträgt, bei einem Phasenunterschied von 180° nur ein Maximum (nicht ein Minimum) der Lichtintensität vorkommen — Wird ferner $\eta < 45^\circ$ oder $\eta = 45^\circ - u$ gesetzt, so hat man für das zweite Differenzial $-2\,\mathrm{Sin}^2(45^\circ - u) + \mathrm{Cos}\,(90^\circ - 2\,u) - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 90^\circ - 2\,u) = -1 + 2\,\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u)$. Hier ist $\mathrm{Sin}\,2\,u$ wieder positiv; $\mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u)$ kann je nach der Grösse von ε und u bald positiv, bald negativ ausfallen; und daher kann das zweite Differenzial $= \pm$ sein, $+$ wenn $2\,\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u) > 1$, dagegen $-$ wenn $2\,\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u) < 1$, was sich für jeden bestimmten Werth von u (oder η) und ε leicht ermitteln lässt. Wir können also sagen, dass bei einem Phasenunterschied von 180° für jede Grösse von η bei wechselndem ε bald ein Minimum bald ein Maximum der Intensität sich ergibt.

Die Gleichung, welche uns die dritte Möglichkeit für ein Maximum oder Minimum gibt, $\mathrm{Cos}\,\delta = \frac{-a}{2b} = \frac{-\mathrm{Sin}\,2\,\eta}{2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]}$ ist nur möglich, wenn $\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta < 2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]$ ohne Rücksicht auf die Zeichen zu nehmen, weil sonst $\mathrm{Cos}\,\delta > \pm 1$. Es lässt sich nun sogleich entscheiden, welche Werthe η annehmen kann oder nicht. Man hat nämlich, wenn man auf beiden Seiten durch $2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta$ dividirt, als Bedingung $2\,\mathrm{Sin}^2\,\eta < \mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)$. Setzen wir zuerst $\eta > 45^\circ$ oder $\eta = 45 + u$, so hat man durch Substitution dieses Werthes in obige Gleichung

$$2\,\mathrm{Sin}^2\,(45^\circ + u) < \mathrm{Cos}\,(90^\circ + 2\,u) - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 90^\circ + 2\,u) \text{ oder}$$

$$1 + 2\,\mathrm{Sin}\,u\,\mathrm{Cos}\,u < -\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u) \text{ oder } 1 + \mathrm{Sin}\,2\,u < \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u) - \mathrm{Sin}\,2\,u.$$

Diess ist aber eine Unmöglichkeit. Da $\mathrm{Sin}\,2\,u$ immer positiv bleibt, so ist $1 + \mathrm{Sin}\,2\,u$ in allen Fällen eine Summe (nie eine Differenz). $\mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u) - \mathrm{Sin}\,2\,u$ erreicht den höchsten Werth, wenn $\mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u)$ negativ und der ganze Ausdruck ebenfalls eine Summe wird, nämlich $-[\mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,u) + \mathrm{Sin}\,2\,u]$, und dieselbe kann natürlich, abgesehen von dem Zeichen, nie grösser sein als $(1 + \mathrm{Sin}\,2\,u)$. Es steht also zum Voraus fest, dass die Bedingungsgleichung $\mathrm{Cos}\,\delta = \frac{-a}{2b}$ gar keine möglichen Werthe gibt, wenn $\eta > 45^\circ$.

Ist $\eta < 45^\circ$ oder $\eta = 45^\circ - u$, so verwandelt sich $2\,\mathrm{Sin}^2\,\eta < \mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)$ in

$$2\,\mathrm{Sin}^2\,(45^\circ - u) < \mathrm{Cos}\,(90^\circ - 2\,u) - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 90^\circ - 2\,u) \text{ oder}$$

$$1 - 2\,\mathrm{Sin}\,u\,\mathrm{Cos}\,u < \mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u) \text{ oder } 1 < 2\,\mathrm{Sin}\,2\,u + \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon - 2\,u).$$

Offenbar liegt hierin keine Unmöglichkeit; und es gestattet das erste Differenzial, dass η alle Werthe zwischen 0 und 45° annehme.

Wenn in das zweite Differenzial

$f_2 = \frac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,\mathrm{Cos}\,\delta + \mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta]$ für $\mathrm{Cos}\,\delta$ der Werth $-\frac{a}{2b} = \frac{-\mathrm{Sin}^2\,2\,\eta}{2\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]}$ eingeführt wird, so hat man $f_2 = -2\,b\,\mathrm{Sin}^2\,\delta = -\mathrm{Cos}^2\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]\,\mathrm{Sin}^2\,\delta$. Ob dieser Ausdruck einen positiven oder negativen Ausschlag gebe, hängt lediglich von $\mathrm{Cos}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)$ ab. Damit das zweite Differenzial positiv und die Bedingung für ein Minimum erfüllt sei, muss ebenen der beiden Körper 45° oder darüber beträgt, so steigt die Intensität mit der Zunahme des Phasenunterschiedes, erreicht bei $\delta = 180°$ ihr Maximum, und vermindert sich wieder bei weiterer Zunahme von δ. Wenn η kleiner als 45° ist, so findet für gewisse Stellungen der Schwingungsebenen zu den Prismen das Nämliche statt, nämlich eine Steigerung der Helligkeit nach dem einzigen Maximum bei $\delta = 180°$. Für gewisse andere Stellungen der Schwingungsebenen dagegen nimmt die Lichtintensität zu, bis δ gleich $180° - z$ ist, erlangt hier ein Maximum, vermindert sich dann wieder bis $\delta = 180°$, erhebt sich von diesem relativen Minimum aus von neuem, bis $\delta = 180° + z$, zu einem zweiten Maximum, und sinkt dann zuletzt wieder auf Null, wenn $\delta = 360°$. Fig. 39 stellt halbe Intensitätscurven der ersten, Fig. 40 solche der zweiten Art dar; die andere symmetrische Hälfte ($\delta = 180°$ bis $360°$) ist weggelassen.[1]

$\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta)$ einen negativen Werth repräsentiren. Wenn $\eta < 45°$ oder $\eta = 45° - u$, so hat man $\cos(90° - 2u) - \cos(4\varepsilon + 90° - 2u) = \sin 2u + \sin(4\varepsilon - 2u)$. $\sin 2u$ ist positiv, weil $u < 45°$; es muss also $\sin(4\varepsilon - 2u)$ negativ und grösser als $\sin 2u$ sein, wenn der ganze Ausdruck eine negative Grösse darstellen soll. Zugleich muss aber die andere Bedingung erfüllt sein, nämlich $\sin^2 2\eta < 2\cos^2\eta\,[\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta)]$, oder indem man $\eta = 45° - u$ setzt, wie eben entwickelt wurde, $1 < 2\sin 2u + \sin(4\varepsilon - 2u)$. Diess ist aber unmöglich, da $\sin(4\varepsilon - 2u)$ negativ und grösser als $\sin 2u$ sein soll und da $\sin 2u$ immer positiv bleibt. Es kann also das zweite Differenzial nie negativ werden; und es existiren für die dritte Bedingung des ersten Differenzials ($\cos\delta = \frac{-a}{2b}$) überhaupt keine Minima der Lichtintensität.

Es frägt sich nun zweitens, ob das zweite Differenzial

$$f^2 = -\cos^2\eta\,[\cos 2\eta \quad \cos(4\varepsilon + 2\eta)]$$

negativ sein und somit ein Maximum anzeigen könne. Diess geschieht dann, wenn $\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta)$ oder ($\eta = 45°$ gesetzt) wenn $\sin 2u + \sin(4\varepsilon - 2u)$ einen positiven Werth gibt, was immer eintritt in dem Falle, dass $\sin(4\varepsilon - 2u)$ positiv oder kleiner als $\sin 2u$ wird. Diesen positiven Werth erlaubt auch die Bedingungsgleichung des ersten Differenzials $\sin 2\eta < 2\cos^2\eta\,[\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta)]$ oder $1 < 2\sin 2u + \sin(4\varepsilon - 2u)$, denn offenbar gibt es Werthe von u und ε, welche den zweiten Ausdruck grösser als 1 machen.

Es existiren also, ausser den Minima für $\delta = 0$, den Maxima und Minima für $\delta = 180°$, noch Maxima für $\cos\delta = \frac{-a}{2b} = \frac{-\sin^2 2\eta}{2\cos^2\eta\,[\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta)]}$, wenn $\eta < 45°$. Es ist offenbar, dass δ im letztern Falle immer 2 Werthe hat, einen unter und einen über 180°; denn $\cos\delta < 1$ und > 0. Für eine positive Grösse von $\cos\delta$ befinden sich die beiden Werthe von δ im ersten und vierten, für eine negative im zweiten und dritten Quadranten.

(1) Die Frage, welche Stellungen der Schwingungsebenen eine Intensitätscurve mit 1 oder mit 2 Maxima bedingen, ergibt sich aus der Bedingungsgleichung $2\sin 2u + \sin(4\varepsilon - 2u) \gtreqless 1$ (Pag. 53) oder wenn man für u seinen Werth $(45° - \eta)$ setzt $2\cos 2\eta - \cos(4\varepsilon + 2\eta) \gtreqless 1$. > 1 zeigt ein relatives Minimum für $\delta = 180°$ und somit Maxima für $\delta = 180° \pm z$ an; < 1 dagegen zeigt ein einziges Maximum für $\delta = 180°$ an. > 1 findet statt, wenn $\cos(4\varepsilon + 2\eta) = -1$ oder mehr, also wenn $4\varepsilon + 2\eta = 180°$ und $= 180° - x$, wenn $\varepsilon = 45° - \frac{\eta}{2}$ und $= 45° - \frac{\eta}{2} - \frac{x}{4}$, d. h bei diagonaler und verwandten Stellungen. < 1 dagegen tritt ein, wenn $\cos(4\varepsilon + 2\eta) = 1$ oder weniger, also wenn

Ich habe bis jetzt die Intensitätscurve zweier über einander liegender Crystallplättchen als allgemeines Problem behandelt und die Stellung derselben rücksichtlich der beiden Polarisationsprismen (oder die Grösse von ε) als unbestimmt angenommen. Bei der diagonalen Stellung, wenn $\varepsilon = 45° - {}^1/_2\,\eta$ oder $\varepsilon = 135° - {}^1/_2\,\eta$ oder $\varepsilon = -45° + {}^1/_2\,\eta$, beträgt die Lichtintensität (Pag. 46)

$$J^2 = {}^1/_2 \operatorname{Sin}^2 2\eta\,(1 - \operatorname{Cos}\delta) + {}^1/_2 \operatorname{Cos}^2\eta \operatorname{Sin}^2\delta\,(\operatorname{Cos}2\eta + 1).$$

Alle Werthe von η, welche zwischen 45° und 90° oder zwischen −45° und −90° liegen, geben für das veränderliche δ eine Intensitätscurve mit einem einzigen Maximum; dasselbe tritt ein, wenn $\delta = 180°$. Die grösste Helligkeit beträgt dann $J^2 = \operatorname{Sin}^2 2\eta$, und ist nur, wenn die Schwingungsebenen der beiden Crystallplättchen um die Hälfte eines rechten Winkels von einander abstehen ($\eta = \pm 45°$) gleich der vom untern Prisma kommenden Lichtmenge ($= 1$). Wenn η in positivem oder negativem Sinne grösser wird als $\pm 45°$, so vermindert sich das Maximum, bis es bei $\eta = \pm 90°$ (wo die ungleichen Schwingungsebenen auf einander treffen) Null wird.

Ist η in positiver oder negativer Richtung kleiner als $\pm 45°$, so hat die Intensitätscurve 2 Maxima, nämlich für $\delta = 180° - z$ und $\delta = 180° + z$, und ein

---

$4\varepsilon + 2\eta = 0$ (oder 360°) und $= -x$ (oder $360° - x$), wenn $\varepsilon = -\frac{\eta}{2}$ (oder $90° - \frac{\eta}{2}$) und $= -\frac{\eta}{2} - \frac{x}{4}$ (oder $90° - \frac{\eta}{2} - \frac{x}{4}$), d. h. bei orthogonaler und verwandten Stellungen. Die Grenze zwischen den beiden Arten von Intensitätscurven gibt die Gleichung

$$2 \operatorname{Sin} 2u + \operatorname{Sin}(4\varepsilon - 2u) = 1 \text{ oder}$$
$$2 \operatorname{Cos} 2\eta - \operatorname{Cos}(4\varepsilon + 2\eta) = 1 \text{ oder } \operatorname{Cos}(4\varepsilon + 2\eta) = 2 \operatorname{Cos} 2\eta - 1.$$

Die folgende Tabelle enthält diese Grenzwerthe von ε für verschiedene Werthe von η; die über dieser Grenze liegenden Werthe von ε (bis zur neuen Grenze) geben eine Intensitätscurve mit 2 Maxima, die unter derselben befindlichen eine Curve mit 1 Maximum.

Grenze zwischen den Maxima und Minima bei einem Phasenunterschied $\delta = 180°$ für verschiedene Werthe von η.

Winkel zwischen den Schwingungsebenen (η)	Orthogonale Stellung. $\varepsilon =$	Grenze. $\varepsilon =$	Diagonale Stellung. $\varepsilon =$	Grenze. $\varepsilon =$
± 1	— 30'	$12\frac{2}{3}'$	44° 30'	88° $47\frac{2}{3}'$
± 5°	— 2° 30'	1° $2\frac{2}{3}'$	42° 30'	83° $57\frac{2}{3}'$
± 10°	— 5°	2° $6\frac{2}{3}'$	40°	77° $53\frac{2}{3}'$
± 15°	— 7° 30'	3° $14\frac{2}{3}'$	37° 30'	71° $45\frac{2}{3}'$
+ 20°	— 10°	4° 28'	35°	65° 32'
+ 25°	— 12° 30'	5° 51'	32° 30'	59° 9'
± 30°	15°	7° 30'	30°	52° 30'
+ 35°	— 17° 30'	9° $36\frac{2}{3}'$	27° 30'	45° $23\frac{2}{3}'$
± 40°	— 20°	12° $56\frac{2}{3}'$	25°	37° $3\frac{2}{3}'$
+ 44°	— 22°	17° 37'	23°	28° 23'
± 45°	— 22° 30'	22° 30'	22° 30'	22° 23'

Wenn η die Grösse von $+ 45°$ erreicht, so fallen die Grenzen mit der diagonalen Stellung zusammen und die Intensitätscurve hat nur noch ein Maximum relatives Minimum nämlich für $\delta = 180°$. Die genaue Lage dieser Maxima ergibt sich aus der Formel $\operatorname{Cos} \delta = \frac{-\operatorname{Sin}^2 2\eta}{2\operatorname{Cos}^2 \eta\,[\operatorname{Cos} 2\eta - \operatorname{Cos}(4\varepsilon + 2\eta)]}$ (vgl. Pag. 52 Anmerk.), welche für die diagonale Stellung die Form annimmt

$$\operatorname{Cos} \delta = \frac{-\operatorname{Sin}^2 2\eta}{2\operatorname{Cos}^2 \eta\,[\operatorname{Cos} 2\eta + 1]} = \frac{-2\operatorname{Sin}^2 \eta}{\operatorname{Cos} 2\eta + 1} = \frac{-2\operatorname{Sin}^2 \eta}{2\operatorname{Cos}^2 \eta} = -\operatorname{Tang}^2 \eta.$$

Wenn $\eta = 0$, d. h. wenn die Schwingungsebenen der beiden Crystallplättchen sich genau entsprechen, so ist $\delta = 90°$ und $270°$. So wie η zunimmt, so wird δ kleiner, d. h. die beiden Maxima rücken gegen einander und wenn $\eta = \pm 45°$ geworden, so ist $\delta = 180°$, und die beiden Maxima haben sich in ein einziges vereinigt. Die Lichtstärke dieser Maxima ist immer 1 (= der vom untern Nicol kommenden Lichtmenge), denn wenn man für $\operatorname{Cos}\delta$ und $\operatorname{Sin}^2\delta$ ihre Werthe einsetzt, so hat man

$$J^2 = \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}^2 2\eta \left(1 + \frac{\operatorname{Sin}^2 \eta}{\operatorname{Cos}^2 \eta}\right) + \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos}^2 \eta \left(1 + \frac{\operatorname{Sin}^4 \eta}{\operatorname{Cos}^4 \eta}\right)(\operatorname{Cos} 2\eta + 1)$$
$$= \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}^2 2\eta + \operatorname{Sin}^4 \eta + \operatorname{Cos}^4 \eta = 1.$$

Die Helligkeit der relativen Minima ($\delta = 180°$) variirt; sie beträgt $J^2 \operatorname{Sin}^2 2\eta$, und ist, wenn η fast $\pm 45°$ erreicht, beinahe 1; mit der Abnahme von η wird sie kleiner und verschwindet bei $\eta = 0$.

Bei orthogonaler Stellung der Schwingungsebenen zeigt die Intensitätscurve für alle Werthe von η nur ein Maximum (wenn $\delta = 180°$). Die Lichtstärke desselben wechselt; $J^2 = \operatorname{Sin}^2 2\eta$. Sie ist 1, wenn $\eta = \pm 45°$ und nimmt von da, wenn η ohne Rücksicht auf das Zeichen grösser oder kleiner wird, gleichmässig ab, bis η die Grenze von 0 oder $\pm 90°$ erreicht.

Die folgenden Tabellen geben die Lichtstärke für einige Werthe von η bei wechselndem Phasenunterschied d. h. für die successiven Werthe von δ von 10° zu 10° zwischen 0 und 180°. Von $\delta = 180°$ bis $\delta = 360°$ wiederholen sich die angegebenen Werthe in umgekehrter Ordnung. Zur Berechnung dienten die Formeln der Tabellen A und C auf Pag. 48 und 50.

A. Ordinaten der Intensitätscurve bei diagonaler Stellung.

δ	Wenn $\eta = 0$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = +15°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 30°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 45°$. so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 60°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 75°$, so ist $J^2 =$
0°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
10°	0,030154	0,028148	0,022658	0,015133	0,007581	0,002034
20°	0,11695	0,109345	0.0884	0,059392	0,030072	0,008063
30°	0,250000	0,234374	0,190865	0,129485	0,065864	0,017868
40°	0,41316	0,388906	0,320137	0,22027	0,113557	0,031099
50°	0,586824	0,555489	0,464043	0,325312	0,170631	0,047285
60°	0,750000	0,715384	0,609375	0,43750	0,234375	0,065865
70°	0,88302	0,851027	0,743441	0,549745	0,301932	0,086209
80°	0,96985	0,947560	0,85542	0,655637	0,370503	0,107645

δ	Wenn $\eta = 0$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 15°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 30°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 45°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 60°$, so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = \pm 75°$, so ist $J^2 =$
90°	1,000000	0,995512	0,93750	0,750000	0,437500	0.129487
100°	0,96985	0,990972	0,98566	0,829287	0,500740	0,151058
110°	0.88302	0,936532	0,999956	0,891765	0,558447	0,171714
120°	0,750000	0,840384	0,98125	0,937500	0,609375	0,190865
130°	0,586824	0,716186	0.946133	0.9681	0,652722	0,207981
140°	0,41316	0,580411	0,894667	0,98631	0,688087	0,222604
150°	0,250000	0.450882	0,840386	0,995515	0,715386	0,234376
160°	0,11695	0,344268	0,793165	0,999082	0,734689	0,242986
170°	0,030154	0,274351	0,761265	0,999943	0,746189	0,248236
180°	0,000000	0,250000	0,750000	1,000000	0,750000	0,250000

Die Curven dieser Ordinaten sind in Fig. 39 zur Hälfte verzeichnet; auf der Abszissenaxe sind die Werthe für δ von 0 bis 180° aufgetragen. Die andere symmetrische Hälfte der Curven, welche die Werthe für δ von 180° bis 360° umfasst, würde sich rechts anschliessen. Für $\eta = \pm. 45°$, $\eta = \pm 60°$ und $\eta = \pm 75°$ besteht nur ein Maximum, nämlich wenn die Abszisse $\delta = 180°$. Wenn $\eta = \pm 30$, so bestehen zwei Maxima, eines für die Abszisse $\delta = 109° 28'$ und das andere für $\delta = 250° 32'$, und dazwischen ein relatives Minimum, für $\delta = 180°$. Die Curve von $\eta = + 15°$ hat ebenfalls zwei Maxima, nämlich bei $\delta = 94° 7'$ und $\delta = 265° 53'$. Wenn $\eta = 0$, so treffen die beiden Maxima auf $\delta = 90°$ und $\delta = 270°$, und das absolute Minimum zwischen denselben auf $\delta = 180°$; d. h. die beiden doppelbrechenden Körper verhalten sich wie ein einziger.

B. Ordinaten der Intensitätscurve bei orthogonaler Stellung.

$\delta =$	Wenn $\eta = + 15$ und $\pm 75°$. so ist $J^2 =$	Wenn $\eta = + 30°$ und $+ 60°$, so ist $J^2 -$	Wenn $\eta = \pm 45°$, so ist $J^2 =$
0°	0,000000	0,000000	0,000000
10°	0.000014	0.000042	0,000056
20°	0,000229	0.000688	0,000917
30°	0,001121	0,003465	0,004485
40°	0,003422	0,010268	0.01369
50°	0,007975	0,023925	0.031900
60°	0,015625	0.046875	0,062500
70°	0,027059	0,081176	0,108235
80°	0,042678	0,128034	0,170713
90°	0,062500	0.187500	0,250000
100°	0,086090	0.258272	0,344362
110°	0,112564	0,337691	0,450255
120°	0,140625	0,421875	0,5625
130°	0,168672	0.506016	0,674687
140°	0,194927	0.584797	0,77973
150°	0,217629	0,652886	0,870515
160°	0,235152	0,705452	0,940617
170°	0,246217	0.738650	0,984866
180°	0.250000	0,750000	1,000000

In Fig. 40 sind die Curven dieser Ordinaten verzeichnet.

VI. Ein anisotroper crystallähnlicher Körper mit weissem Lichte beobachtet. Bildung der Interferenzfarben.

In der ganzen bisherigen Auseinandersetzung über die Wirksamkeit des Polarisationsapparates wurde der Elementarstrahl, d. h. der Strahl irgend einer homogenen Lichtart betrachtet und durch einen einzelnen oder durch 2 übereinander liegende doppelbrechende Körper verfolgt. Das weisse Licht, welches gewöhnlich zur Untersuchung angewendet wird, besteht aus verschiedenen gefärbten Elementarstrahlen, welche in dem nämlichen Medium eine ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und ungleiche Wellenlängen besitzen. Da ferner jedem Elementarstrahl ein eigenthümliches Brechungsverhältniss zukommt, so ist auch in dem nämlichen doppelbrechenden Medium das Verhältniss zwischen den Wellenlängen der beiden polarisirten Componenten für die verschiedenen Lichtfarben nicht vollkommen gleich.[1] — Da das rothe Licht die längsten, das violette die kürzesten Wellen hat, so bedarf es, um einen bestimmten Phasenunterschied hervorzubringen, eine dickere Crystallplatte für den rothen als für den violetten Strahl; und wenn man den nämlichen Keil (Fig. 18) nach einander mit den 7 Strahlen des Spectrums beobachtet, so liegen beim rothen Licht die hellen und dunklen Streifen am weitesten aus einander; bei Orange rücken sie näher, bei Gelb noch näher u. s. w.; bei Anwendung von violettem Licht zeigen sie die kleinsten Abstände.[2]

---

(1) 7 Strahlen des Spectrums, entsprechend den 7 Frauenhoferschen Linien (B, C, D, E, F, G, H) haben in der Luft, im Wasser und in den beiden Schwingungsebenen des Kalkspaths (senkrecht zur optischen Axe) folgende Wellenlängen in Milliontheilen des Millimeters:

	B (Roth)	C (Roth	D (Orange)	E (Grün)	F (Blau)	G (Indigo)	H (Violett)
Luft	687,8	656,4	588,8	526,0	484,3	429,1	392,8
Wasser	516,8	492,9	441,5	393,7	362,0	319,9	292,2
ordentl. Strahl im Kalkspath	416,1	396,8	355,0	316,2	290,3	256,0	233,3
ausserordtl. Strahl im Kalkspath	463,4	442,2	396,1	353,3	324,9	287.1	262,2

(2) Wenn man die Wellenlängen ($L_{,}$ und $L_{,,}$) der beiden polarisirten Strahlen einer homogenen Lichtart kennt, so lässt sich leicht berechnen, wo auf einer keilförmigen Platte die dunkeln und hellen Streifen sich befinden. Der erste dunkle Streifen entspricht einer Dicke (d), bei welcher der eine Strahl dem andern um eine ganze Wellenlänge vorausgeeilt ist, und wo somit beide den Crystall zum ersten Mal in der nämlichen Schwingungsphase verlassen. Es muss also $\frac{d}{L_{,,}} - \frac{d}{L_{,}} = 1$ sein, somit $d\,L_{,} - d.L_{,,} = L_{,}.L_{,,}$ und $d = \frac{L_{,}\,L_{,,}}{L_{,} - L_{,,}}$. Der erste helle Streifen befindet sich da, wo der eine Strahl den andern um eine halbe Wellenlänge überholt, und wo der Phasenunterschied demnach zum ersten Mal 180° erreicht hat. Hier ist $\frac{d}{L_{,,}} - \frac{d}{L_{,}} = \frac{1}{2}$, ferner $d.L_{,} - d.L_{,,} = \frac{L_{,}.L_{,,}}{2}$ und $d = \frac{L_{,}.L_{,,}}{2(L_{,}-L_{,,})}$.

Lässt man weisses Licht durch einen doppelbrechenden Körper gehen, so treten die einzelnen homogenen Strahlen mit ungleichen Phasen aus demselben heraus, und erscheinen daher nach der Interferenz im analysirenden Prisma mit ungleicher Lichtintensität. Der auf Pag. 32 abgeleitete Ausdruck $2\,a^2\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2\,\varepsilon \times [1 - \mathrm{Cos}\,\delta]$, der uns die leuchtende Kraft des interferirenden Strahls angibt, stellt für Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett andere Werthe dar, weil die Phasenunterschiede (δ) verschieden sind. Das Object sendet dem Auge nicht mehr weisses Licht zu; denn das gewöhnliche Verhältniss der Elementarstrahlen, welches uns das Licht weiss erscheinen lässt, ist gestört; der eine derselben ist am stärksten, ein anderer am schwächsten oder auch gar nicht vertreten. Das Object zeigt sich desswegen gefärbt; seine Farbe hängt von dem Verhältniss der Intensitäten ab, mit welchem die im Bilde sich deckenden homogenen Lichtarten ausgestattet sind.

a. Veränderung der Interferenzfarbe bei wechselnder Dicke des Körpers oder in einem Keile.

Betrachtet man die keilförmige Platte, welche bei Anwendung von homogenem Licht alternirende helle und dunkle Streifen zeigt (Fig. 18), mit weissem Licht, so zeigt sie eine Menge von Farben, welche mit der Dicke stetig wechseln. Es sind die Farben, die man erhalten würde, wenn man alle möglichen Elementarstrahlen durch eben so viele Keile gehen liesse, und die Bilder, die sie geben, über einander legte. Fig. 43 gibt eine bildliche Darstellung für die 7 Farben des Spectrums; jede mit der Intensitätscurve, die einem Keil von gleicher Länge entspricht. Dieser zeigt an jedem Punkt die Mischfarbe, welche durch die Summe aller einzelnen homogenen Farben erzeugt wird. Beginnt man an dem dünnen Ende, so hat man folgende Farbenscale (die in Klammern eingeschlossenen Farben sind die des complementären Bildes):

1. Ordnung.		2. Ordnung.	
Schwarz	(Weiss)	Violett	(Gelb)
Bläulichdunkel, Grau	(Gelblichweiss)	Indigo	(Gelborange)
Hellbläulich	(Orange, Gelbbraun)	Blau	(Orange)
Weiss	(Rothviolett)	Grün	(Roth)
Gelb	(Hellindigo)	Gelb	(Hellindigo)
Orange, Braungelb	(Blau)	Orange	(Grünlichblau)
Roth	(Hellgrün)	Roth	(Grün)

Allgemein hat der Crystallkeil an den dunkeln Streifen eine Dicke von $\frac{n \,.\, L_{,} \,.\, L_{,,}}{L_{,} - L_{,,}}$, an den hellen Streifen von $\frac{(2\,n + 1)\, L_{,} \,.\, L_{,,}}{L_{,} - L_{,,}}$. In einem Keil von Kalkspath, dessen optische Axe horizontal liegt, entsprechen die dunkeln Streifen für die Strahlen der 7 Frauenhoferschen Linien folgenden Dicken in Milliontheilen des Millimeters $B = n \,.\, 4076{,}5$; $C = n \,.\, 3864{,}9$; $D = n \,.\, 3421{,}3$; $E = n \,.\, 3011{,}1$; $F = n \,.\, 2726{,}0$; $G = n \,.\, 2363{,}2$; $H = n \,.\, 2116{,}7$.

3. Ordnung.

Violett	(Grünlichgelb)
Blau	(Gelborange)
Grün	(Roth)
Gelb	(Violett)
Rosa, orange	(Blau)
Roth	(Grün)

4. Ordnung.

Hellviolett	(Hellgrünlichgelb)
Bläulichgrün	(Hellrosa)
Grün	(Hellroth)
Hellgrünlichgelb	(Lila)
Hellgelblichroth	(Hellgrünlichbläulich)
Hellroth	(Hellgrün)

5. Ordnung.

Hellblau	(Hellrosa)
Hellgrün	(Hellroth)
Weisslich	(Weisslich)
Hellroth	(Hellgrün)

6. Ordnung.

Hellblau	(Hellrosa)
Sehr hellgrün	(Hellroth)
Weisslich	(Weisslich)
Sehr hellroth	(Hellgrünlich)

Da sich die Farben wiederholen, so wurden sie in Ordnungen gebracht. Schwarz entspricht der dünnsten Stelle des Keils, wo jeder Strahl nur mit äusserst geringer Intensität hindurchgeht. Sowie das Dunkel etwas abnimmt, so erkennt man darin einen violett-blauen Ton, weil diese Farben überwiegen. Nachher vereinigen sich alle Farben zu einem matten Weiss und es bleibt nur Blau im Ueberschuss, welches daselbst sein Maximum erreicht. An der Stelle, wo das Grün sein Maximum erlangt, verbinden sich die 7 Farben zu Lebhaft-weiss, in welchem der geringe Ueberschuss von Grün verschwindet. Das Ueberwiegen von Gelb, Orange und Roth drückt dann der Mischfarbe den Charakter auf. So lassen sich auch die Farben der folgenden Ordnungen leicht nachweisen. Sie nehmen aber von der dritten Ordnung aus an Bestimmtheit ab; in der siebenten und achten Ordnung erkennt man nur noch zwei Farben deutlich, Hellbläulichgrün und Hellroth; später erscheint der Keil fast weiss.

Die Interferenzfarben gehen allmälig in einander über, und es ist daher gewissermassen willkührlich, wie viele Nummern man in jeder Ordnung unterscheiden will. Ich folgte den gewöhnlichen Angaben und theilte jede der 4 ersten Ordnungen in 7 und 6 Töne, indem eine weitere Trennung mehr verwirrt als fördert. Nur für die erste Ordnung dürfte es in wenigen Fällen wünschbar sein, eine grössere Zahl von Nummern zu unterscheiden; ich füge desswegen noch eine Aufzählung derselben bei.

Schwarz (Lebhaftweiss)
Eisengrau, Schwärzlichgrau (Weiss)
Graublau, Grau (Gelblichweiss)
Heller graublau (Gelbbräunlich)
Hellbläulich (Gelbbraun)
Grünlichweiss (Braunroth)
Weiss (Rothviolett)
Gelblichweiss (Violett)
Gelb (Hellindigo)
Braungelb (Graublau)
Bräunlichorange (Blau)
Rothorange (Blaugrün)
Roth (Hellgrün)
Dunklerroth (Gelbgrün)

Hat der doppelbrechende Körper parallele Flächen, so gibt er natürlich nur eine Mischfarbe, diejenige, welche seiner Dicke entspricht. Man kann mit demselben Crystall alle möglichen Farben erhalten, wenn man dünne Platten desselben von ungleicher Stärke anfertigt. Das Nämliche beobachtet man an den microscopischen Crystallen, die man erhält, wenn man eine Substanz auf einem Objectträger aus einer dünnen Flüssigkeitsschicht auscrystallisiren lässt; sie erscheinen in den manichfaltigsten Färbungen.

Die Anwendung des homogenen Lichtes zeigt an einem Crystallkeil sehr genau die Stellen, wo der eine Strahl von dem andern um gerade oder ungrade Hälften von Wellenlängen abweicht und welche den Dicken $n . d$ und $(n + 1/_2)\,d$ entsprechen (worin n ganze Zahlen von 0 angefangen und d die Dicke bezeichnet, bei welcher die beiden Strahlen einen Phasenunterschied von einer ganzen Welle erreichen). Allein eine Verschiedenheit wird nicht angezeigt, ob die Differenz ein Einfaches oder ungerade Mehrfaches von Wellenhälften, ein Einfaches oder Mehrfaches von ganzen Wellen betrage. Alle Crystallplatten, deren Dicke $u + n . d$ beträgt (worin u irgend eine beliebige constante Dicke bedeutet) verhalten sich, wenn n sich ändert, vollkommen gleich. — Wird dagegen weisses Licht angewendet, so werden die entsprechenden Dicken $n . d$, $(n + 1/_2)\,d$ und überhaupt $u + n . d$ nicht so genau angegeben, weil die Farben sich nur innerhalb gewisser Grenzen entsprechen und diess überdem nur für wenige auf einander folgende Ordnungen gilt. Dafür ergibt sich ein anderer Vortheil gerade aus dem Umstande, dass die Farbennüancen und Farbenfolgen in den verschiedenen Ordnungen ungleich sind. Man kann mit Hülfe dieser Erscheinung die für das homogene Licht ununterscheidbaren Stellen eines Keils unterscheiden. Wenn man mehrere Platten des gleichen Crystalls hat, deren Dicken sich verhalten wie $u, u + d, u + 2\,d, u + 3\,d$, so lässt sich zuweilen aus der Farbe allein deren ungefähre Dicke bestimmen. Eben so kann man, wenn man von 2 oder mehrern Platten verschiedener anisotroper Körper die Dicke kennt, aus den Farben (wenn sie wenigstens den ersten Ordnungen angehören) auf das grössere oder geringere Doppelbrechungsvermögen derselben schliessen. Doch ist diese Bestimmungsmethode nicht ganz sicher, und setzt jedenfalls schon eine sehr genaue Kenntniss der Farbennüancen der verschiedenen Ordnungen voraus. Ein später zu erörterndes Controlverfahren gibt aber vollständige Sicherheit.

b. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Körper um seine verticale Axe gedreht wird.

Es wurde bis jetzt vorausgesetzt, dass der doppelbrechende Körper, durch welchen man weisses Licht gehen lässt, mit seinen Schwingungsebenen zu den beiden Prismen eine diagonale Stellung einnehme, in welchem Falle er die intensivste Beleuchtung und somit die lebhafteste Farbe zeigt. Dreht man ihn um seine verticale Axe, d. h. vermehrt oder vermindert man den Winkel von 45°, den seine Schwingungsebenen mit denen der Prismen bildeten, so bleibt die Farbe die nämliche, wird aber allmälig dunkler, bis sie bei paralleler Stellung in Schwarz übergeht. Sie ist die Summe von Elementarstrahlen, welche die Intensität $2\,a^2\,\mathrm{Sin}^2\,\varepsilon \times \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\,[1 - \mathrm{Cos}\,\delta]$ haben. δ (der Phasenunterschied) ist für jeden derselben verschieden, und erscheint in seiner Formel als d_m, d_n, d_o ..... Dreht man das Object um seine Axe, so verändert sich ε für alle Strahlen gleichmässig, während d_m, d_n, d_o ..... constant bleiben. Man hat also zwei Gruppen von Faktoren für die Lichtintensität; die eine ist $2\alpha(1 - \text{Cos}\,\delta)$ und zeigt für jede homogene Lichtart einen unveränderlichen Werth; die andere ist $\text{Sin}^2\varepsilon\,\text{Cos}^2\varepsilon$ und wechselt beim Drehen. Es ist einleuchtend, dass bei jeder Stellung das Intensitäts-Verhältniss der verschiedenen Lichtarten das gleiche bleibt. Daher vermindert sich von der diagonalen bis zur orthogonalen Stellung die Intensität aller einzelnen homogenen Strahlen in gleichem Maasse und desswegen ändert sich auch die Mischfarbe nicht, sondern wird nur geschwächt. Es ist dies bei der Beobachtung nicht aus den Augen zu verlieren, da man leicht geneigt ist in hellen Farben, wenn man sie verdunkelt, eine Aenderung zu erkennen; so scheint Gelb in Grüngelb, Grün in Blaugrün, Blau in Indigo, Roth in Violettroth überzugehen. Ein für Farben geübtes Auge wird aber nicht übersehen, dass die Farbennüance nicht geändert, sondern nur dunkler wurde. Von der Richtigkeit dieser Thatsache kann man sich übrigens auch leicht dadurch überzeugen, dass man die helle Farbe, welche die diagonale Stellung z. B. eines Gypsplättchens gibt, durch Schwächung des Lichtes verdunkelt; sie zeigt dann genau denselben Charakter, wie die dunkle Farbe, welche man beim Drehen um die verticale Axe durch Annäherung an die orthogonale Stellung erhält.

c. Berechnung der Interferenzfarben aus den Intensitäten der zusammentretenden homogenen Farben.

Unter gewissen Voraussetzungen lässt sich die Interferenzfarbe, welche die keilförmige Platte an jeder beliebigen Stelle gibt, berechnen. Dies geschieht mit Hülfe einer Construction wie Fig. 43; nur ist es zweckmässig, sie in grösserm Massstabe auszuführen, um die Ordinaten der Intensitätscurven genau messen zu können. Für eine solche Construction, von welcher Fig. 43 eine verkleinerte Darstellung ist, wurden die Wellenlängen der 7 Hauptstrahlen nach den auf Pag. 6 gegebenen Werthen eingeführt.[1]

In Wirklichkeit treten zwar nicht 7 Strahlen, sondern unendlich viele zusammen, von denen jeder einen etwas andern Farbenton hat. Wir können aber unter jenen 7 Strahlen uns ebenso viele Summen denken, in denen sie rücksichtlich der Farbe Mittelwerthen entsprechen. Die 7 Farben zusammen erzeugen weisses Licht. Der Einfachheit wegen kann man dieselben auf die drei Hauptfarben Roth, Gelb und Blau reduziren, und die andern als Verbindungen derselben betrachten. Bei dieser Annahme vereinigen sich gleiche Quantitäten von Roth, Gelb und Blau zu Weiss, und um diess zu erreichen, muss für die 7 Farben des Spectrums eine entsprechende Zusammensetzung aus jenen 3 Grundfarben

---

(1) Die Intensitätscurven sind (wie in Fig 18) nach der Intensitätsformel construirt (vgl. Pag. 35). Der Raum einer Wellenlänge wurde somit in 360 Theile getheilt, so dass die Abszisse durch eine Anzahl von Graden (δ) ausgedrückt war. Die Ordinaten wurden so errichtet, dass ihre Höhe dem Werthe $1 - \text{Cos}\,\delta$ entsprach. Die Constructionen in Müller-Pouillet (5. Aufl. 1, 631) und Eisenlohr (8. Aufl. p. 276) sind unrichtig.

und eine bestimmte Intensität angenommen werden. Mit Rücksicht nun darauf, dass die 7 Farben einen ungleichen Raum im Spectrum einnehmen[1] und eine ungleiche Intensität[2] besitzen, habe ich für dieselben folgende Zusammensetzung in Rechnung gebracht.

	Roth	Gelb	Blau
Violett	5	—	3½
Indigo	1	—	4
Blau	—	—	8½
Grün	—	6	4
Gelb	—	10	—
Orange	2	4	—
Roth	12	—	—
	20	20	20

Um die Interferenzfarbe zu bestimmen, die der Keil an einer bestimmten Stelle gibt, werden auf der betreffenden Verticalen die Ordinaten der 7 Farben gemessen und mit den Coeffizienten der vorstehenden Tabelle multiplizirt, und so die Mengen von rothem, gelbem und blauem Licht berechnet, welche zusammentreten. Nachdem gleiche Quantitäten für die Bildung von Weiss davon abgezogen wurden, zeigt der Rest den Ton der Interferenzfarbe an. Ich will für 2 Beispiele, nämlich für die Verticale 5 und 11 die Rechnung ausführen.

Verticale 5	Höhe der Ordinaten	Roth	Gelb	Blau
Violett	133	665	—	465½
Indigo	141	141	—	564
Blau	147	—	—	1249½
Grün	150	—	900	600
Gelb	147	—	1470	—
Orange	143	286	572	—
Roth	140	1680	—	—
		2772	1942	2879

Die Höhe, welche der grössten Intensität entspricht, die ein Elementarstrahl erlangen kann, war in 150 Theile getheilt; die Länge der Ordinaten ist durch solche Theile ausgedrückt; Grün befindet sich auf der Verticalen 5 im Maximum. Wenn alle Strahlen die volle Intensität besässen und also kein Licht verloren

---

(1) Die Länge der einzelnen Farben im Spectrum wurde für Glasprismen von Newton und Frauenhofer folgendermassen bestimmt:

	Roth	Orange	Gelb	Grün	Blau	Indigo	Violett	Zusammen
Newton	45	27	40	60	60	48	80	360
Frauenhofer	56	27	27	46	48	47	109	360

(2) Die Lichtstärke ist an den beiden Enden des Spectrum's gering; sie nimmt von da einerseits durch Orange, anderseits durch Blau und Grün allmälig zu bis in die Mitte des Gelben, wo sie am grössten ist.

ginge, so würde die ganze Lichtmenge auf einer Verticalen 3000 Roth, 3000 Gelb und 3000 Blau, also zusammen 9000 Weiss betragen. Auf der Verticalen 5 gibt die Summation 2772 Roth, 2942 Gelb und 2879 Blau. Davon vereinigen sich 2772 von jeder Farbe zu 8316 Weiss. Es bleiben 170 Gelb und 107 Blau, von denen je 107 zusammen 214 Grün bilden, und einen Ueberschuss von 63 Gelb lassen. Die ganze Summe beträgt also 8316 Weiss, 214 Grün und 63 Gelb. Das gelbliche Grün wird hier von dem weissen Licht so bedeckt, dass man nur das letztere wahrnimmt, wie diess in der That bei Weiss der ersten Ordnung der Fall ist. Die ganze Lichtmenge steigt auf 8593; es gehen also nur 407 Neuntausendstel im Analysator verloren.

Verticale 11	Höhe der Ordinaten	Roth	Gelb	Blau
Violett	115	575	—	402½
Indigo	83	83	—	332
Blau	51	—	—	433½
Grün	17	—	102	68
Gelb	3	—	30	—
Orange	2	4	8	—
Roth	10	120	—	—
		782	140	1236

140 Theile jeder der 3 Farben vereinigen sich zu 420 Weiss. Die übrigbleibenden 642 Roth und 1096 Blau geben 1284 Violett und 454 Roth. Die Mischfarbe (420 Weis, 1284 Violett und 454 Roth) ist ein röthliches Violett; und die ganze Lichtmenge beträgt bloss 2158, während 6842 Neuntausendstel im Analysator verloren gehen.

In der folgenden Tabelle habe ich für eine Reihe von Verticalen die Ergebnisse ähnlich ausgeführter Berechnungen zusammengestellt. Das Verfahren, wenn es auch der strengen Methode entbehrt, ist doch im Stande einen Begriff von der Natur der Interferenzfarben, ihrer sehr ungleichen Farbenintensität und Helligkeit zu geben.

Verticale	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Roth	Weiss	Summe	Resultirende Mischfarbe
1	34	58½	—	—	—	—	726	818½	Grau I
2	2	303	—	—	—	—	2814	3119	Hellbläulich I
3	—	405	82	—	—	—	5349	5836	Bläulichweiss
4	—	314½	164	—	—	—	7440	7918½	Weiss I
5	—	—	214	63	—	—	8316	8593	Weiss I
6	—	—	—	195	786	—	6672	7653	Gelblichweiss
7	—	—	—	71	1743	—	3742½	5556½	Hellorange
8	—	—	—	—	1913	135	1282½	3330½	Orange I
9	—	—	—	—	953	486	340½	1779½	Rothorange
10	646	—	—	—	—	358	336	1340	Rothviolett
11	1284	454	—	—	—	—	420	2158	Violett II

Verticale	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Roth	Weiss	Summe	Resultirende Mischfarbe
12	578	1247½	—	—	—	—	1776	3601½	Blau II
13	—	1342	648	—	—	—	3090	5080	Grünlichblau
14	—	542½	1896	—	—	—	3528	5966½	Grün II
15	—	—	1491	555½	—	—	4179	6225½	—
16	—	—	—	1174	677	—	3964½	5815½	Gelb II
17	—	—	—	466	2758	—	1929	5153	Orange II
18	—	—	—	—	2787	530	1213½	4530½	—
19	—	—	—	—	752	1438	1950	4140	Roth II
20	1589		—	—	—	1011½	1386	3986½	Rothviolett
21	3106	104	—	—	—	—	744	3954	Violett III
22	1254	1245	—	—	—	—	1374	3873	Violettblau
23	—	1346	1046	—	—	—	1491	3883	Blaugrün
24	—	332½	3038	—	—	—	453	3823½	Grün III
25	—	—	1703	839½	—	—	1785	4327½	Gelblichgrün
26	—	—	360	1605	—	—	2415	4380	Gelb III
27	—	—	—	860	1725	—	2338½	4923½	Gelblichorange
28	—	—	—	—	2327	304	2701½	5332½	Orange
29	—	—	—	—	346	1357	3861	5564	Roth III
30	1589	—	—	—	—	1049½	2682	5320½	Rothviolett
31	2794	—	—	—	—	320	1638	4752	Violett IV
32	2014	454	—	—	—	—	1644	4112	—
33	206	890	—	—	—	—	2580	3676	Hellblau
34	—	216	1514	—	—	—	1743	3473	Grün IV
35	—	—	1436	580	—	—	1746	3762	—
36	—	—	718	1066	—	—	2337	4121	Grünlichgelb
37	—	—	77	1150½	—	—	3357	4584½	Gelb IV
38	—	—	—	715	475	—	3508½	4698½	Hellgelb
39	—	—	—	57	419	—	4408½	4884½	Hellorange
40		—	—	—	645	205½	3948	4798½	Hellrothorange
41	1536	—	—	—	—	292	2874	4702	Violett
42	1777	—	—	—	—	420½	2490	4687½	—
43	1480	—	—	—	—	513	2754	4747	—
44	674	—	—	—	—	468	3540	4682	Hellrothviolett
45	—	—	—	—	267	140	4213½	4620½	Hellrothorange
46	—	—	232	516	—	—	3492	4240	Hellgrüngelb
47	—	—	1124	699	—	—	2139	3962	Gelblichgrün
48	—	—	1854	632	—	—	1251	3737	Gelblichgrün

Dieser Tabelle habe ich noch eine Bemerkung betreffend die Uebereinstimmung der berechneten mit den wirklichen Interferenzfarben beizufügen. Die Berechnung ist vollkommen genau, wenn sich alle Elementarstrahlen in gleicher Intensität befinden; sie muss also um so ungenauer werden, je grösser die Verschiedenheit zwischen der Ordinatenlänge zweier neben einander befindlicher Nummern der 7 Farben ist. Ein Blick auf Fig. 43 zeigt, dass diese Verschiedenheit auf der linken Seite am kleinsten, auf der rechten Seite am grössten ist. Dies ist ein erster Grund, warum die berechnete mit der wirklichen Interferenzfarbe in der ersten Ordnung am genauesten, in den spätern etwas weniger genau übereinstimmt.

Die Berechnung ersetzt eine Reihe von ungleichen Werthen, die einander zu addiren sind, durch einen Mittelwerth. Dieser Mittelwerth wird immer etwas zu gross ausfallen, wenn eine der 7 Farben sich im Maximum, dagegen zu klein, wenn sie sich im Minimum der Intensität befindet, weil im ersteren Falle alle übrigen zu addirenden Elementarstrahlen eine geringere, im zweiten eine grössere Intensität besitzen. Haben zwei neben einander liegende homogene Farben, z. B. Gelb und Grün, Ordinaten von einer bestimmten Länge, so wird die Berechnung von der Wirklichkeit am wenigsten sich entfernen, wenn die Elementarstrahlen zwischen den beiden homogenen Farben, so wie die vorausgehenden und die nachfolgenden (in dem angeführten Beispiele von Orange bis Blau) in der gleichen Richtung zu- oder abnehmen. Diess ist der Fall zwischen allen 7 Farben der 1. 2. 3. 7. 8. Verticale. — Wenn dagegen von der Ordinate der einen homogenen Farbe aus die Elementarstrahlen bis zum Maximum der Intensität wachsen und dann bis zur Ordinate der andern Farbe zurückgehen, oder wenn der Uebergang durch das Minimum statt findet, so muss die berechnete Mischfarbe sich weiter von der wirklichen entfernen; sie muss im erstern Falle zu viel, im zweiten zu wenig von der den beiden homogenen Farben gemeinsamen Hauptfarbe (Roth, Gelb oder Blau) enthalten. Diess ist nun überall in Fig. 43 da der Fall, wo auf der gleichen Verticale die Intensitätscurven zweier benachbarter Farben in entgegengesetzter Richtung geneigt sind, z. B. Gelb und Grün auf der Verticale 36, Roth und Orange auf 35. Die Construction bringt es mit sich, dass, um mich dieses Ausdruckes zu bedienen, diese Kreuzungen zweier successiver Intensitätscurven auf der linken Seite der Fig. 43 selten vorkommen und wenig störend wirken; dass sie aber je weiter man nach rechts geht, um so häufiger eintreten und eine für die Rechnung um so verderblichere Wirkung äussern. Es ist das ein zweiter Grund, warum die berechneten und die wirklichen Interferenzfarben um so weniger übereinstimmen können, je höher die Farbenskale ansteigt.

Es hätten, um diesen beiden Fehlerquellen zu begegnen, Correcturen in der Berechnung der Interferenzfarben angebracht werden können. Diess ist nicht geschehen, weil sie doch nur willkürlich ausgefallen wären, und weil ohne diess die berechneten Interferenzfarben in den ersten Ordnungen sehr genau, und in den spätern wenigstens ziemlich genau mit der Beobachtung übereinstimmen, und erst in der fünften Ordnung Widersprüche bemerkbar werden.

In den 4 ersten Ordnungen folgen sich die Farben in gleicher Weise wie im Spectrum, mit der Ausnahme, dass in der ersten Ordnung das Violett durch Schwarz, das Grün durch Weiss verdeckt wird. Die Farben werden aber von der zweiten Ordnung an heller, in der fünften und sechsten Ordnung sind nur noch wenige, in der siebenten und achten nur noch zwei Farben (Hellbläulichgrün und Hellroth) zu erkennen, wie ich bereits erwähnt habe. Wird der Keil noch dicker, so dass er Farben der neunten und höherer Ordnungen geben sollte, so erscheint er fast weiss. — Die Ursache dieser Erscheinung liegt in dem gegenseitigen Verhalten der Intensitätscurven. In den zwei ersten Ordnungen und in der Hälfte der dritten ist auf jeder Verticalen nur eine homogene Farbe im

Maximum (Fig. 43, Vert. 1 — 24) und die Intensitäten nehmen von da aus nach beiden Seiten (Fig. 43 nach oben und unten) hin ab. In der ersten Ordnung fallen die Maxima aller Elementarstrahlen nahe zusammen, daher sie sich hier zu einer grossen Menge von Weiss vereinigen. Im letzten Drittheil der dritten Ordnung und in der vierten Ordnung befinden sich auf jeder Verticalen, wenn wir alle Elementarstrahlen des Spectrums berücksichtigen, zwei derselben im Maximum (Fig. 43, Vertic. 27 — 44); die beiden Maxima sind aber um weniger als den dritten Theil des Spectrums von einander entfernt, und bilden daher zusammen eine der 7 Farben. In der fünften und sechsten Ordnung kommen auf jeder Verticalen von allen Elementarstrahlen je 3 ins Maximum, die so über das Spectrum vertheilt sind, dass sie zusammen nahezu Weiss erzeugen. Wird der Keil noch dicker, so gelangen fortwährend mehr homogene Farben auf jeder Verticalen zum Maximum, und dieselben sind beständig in gleichmässigen Abständen auf der ganzen Breite des Spectrums angeordnet, so dass die Vereinigung zu Weiss immer vollständiger erfolgt und die Menge des Weiss immer grösser wird.

VII. Zwei anisotrope crystallähnliche Körper mit weissem Lichte beobachtet.

a. Die homologen Schwingungsebenen fallen zusammen oder kreuzen sich rechtwinklig.

Probleme von ganz allgemeiner Wichtigkeit gibt uns der Fall, wo zwei übereinander liegende doppelbrechende Körper im Polarisationsapparate von weissem Lichte erhellt werden. Wenn die gleichnamigen Schwingungsebenen correspondiren, so addiren sich die Phasenunterschiede jedes Elementarstrahls (Pag. 36), und die Farbe wird in der Skale erhöht. Zeigen z. B. beide Körper jeder für sich Weiss der I. Ordnung, so geben sie zusammen Roth der I. Ordnung; Gelb I und Weiss I geben Indigo II etc. — Wenn die ungleichnamigen Schwingungsebenen auf einander treffen, so subtrahiren sich die Gangunterschiede jedes Elementarstrahls (Pag. 36), und die Farbe wird in entsprechendem Maasse in der Skale vermindert. Wenn von den beiden Körpern jeder für sich die gleiche Farbe zeigt, so sind sie, in der angegebenen Weise über einander gelegt, schwarz. Blau der II. Ordnung und Gelb der II. Ordnung geben Hellbläulich der I. Ordnung; Blau II und Weiss I geben Orange I etc.

Die folgende Tabelle gibt die resultirende Farbe zweier doppelbrechender Körper A und B, wenn ihre Schwingungsebenen sich in der Additions- und in der Subtractionslage befinden. Ich habe, da die erste Ordnung nur 6 Farben enthält, auch den beiden folgenden Ordnungen nur 6 gegeben und daher in der zweiten das Violett, in der dritten das Indigo weggelassen. Ich habe ferner, da die Farben allmälig in einander übergehen und die Bestimmung des einzelnen Ton's der Willkür einen gewissen Spielraum lässt, die 6 Nummern der drei ersten Ordnungen so gewählt, dass sie ungefähr gleichen Abständen auf dem Farbenkreise entsprechen. Ich habe endlich der Einfachheit wegen die resultirende Additions- und Subtractionsfarbe in der Regel durch eine Nummer der Farbenskale ausgedrückt, wenn sie auch nicht vollständig derselben entspricht, und also z. B. lediglich Grün II gesetzt, wo es eigentlich Bläulichgrün II oder Gelblichgrün II heissen sollte. Diess ist jedoch von keinem Belang, da die resultirenden Farben durch die Abweichungen, welche die beiden Körper A und B gestatten, viel stärker modifizirt werden. Mehrere Crystallplättchen, die mit Gelb I und Weiss I bezeichnet und aus der gleichen Fabrik bezogen sind, können in der Additionslage bei verschiedener Combination Indigo II, Blau II und Violett II geben.

A	B	Additionslage	Subtractionslage
Grau I	Grau I	Hellbläulich I	Schwarz
Hellbläulich I	Grau I	Weiss I	Grau I
—	Hellbläulich I	Gelb I	Schwarz
Weiss I	Grau I	Gelb I	Hellbläulich I
—	Hellbläulich I	Orange I	Grau I
—	Weiss I	Roth I	Schwarz
Gelb I	Grau I	Orange I	Weiss I
—	Hellbläulich I	Roth I	Hellbläulich I
—	Weiss I	Indigo II	Grau I
—	Gelb I	Blau II	Schwarz
Orange I	Grau I	Roth I	Gelb I
—	Hellbläulich I	Indigo II	Weiss I
—	Weiss I	Blau II	Hellbläulich I
—	Gelb I	Grün II	Grau I
—	Orange I	Gelb II	Schwarz
Roth I	Grau I	Indigo II	Orange I
—	Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
—	Weiss I	Grün II	Weiss I
—	Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
—	Orange I	Orange II	Grau I
—	Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Grau I	Blau II	Roth I
—	Hellbläulich I	Grün II	Orange I
—	Weiss I	Gelb II	Gelb I
—	Gelb I	Orange II	Weiss I
—	Orange I	Roth II	Hellbläulich I
—	Roth I	Violett III	Grau I
—	Indigo II	Blau III	Schwarz
Blau II	Grau I	Grün II	Indigo II
—	Hellbläulich I	Gelb II	Roth I
—	Weiss I	Orange II	Orange I
—	Gelb I	Roth II	Gelb I

—	Orange I	Violett III	Weiss I
—	Roth I	Blau III	Hellbläulich I
—	Indigo II	Grün III	Grau I
—	Blau II	Gelb III	Schwarz
Grün II	Grau I	Gelb II	Blau II
—	Hellbläulich I	Orange II	Indigo II
—	Weiss I	Roth II	Roth I
—	Gelb I	Violett III	Orange I
—	Orange I	Blau III	Gelb I
—	Roth I	Grün III	Weiss I
—	Indigo II	Gelb III	Hellbläulich I
—	Blau II	Rosa III	Grau I
—	Grün II	Roth III	Schwarz
Gelb II	Grau I	Orange II	Grün II
—	Hellbläulich I	Roth II	Blau II
—	Weiss I	Violett III	Indigo II
—	Gelb I	Blau III	Roth I
—	Orange I	Grün III	Orange I
—	Roth I	Gelb III	Gelb I
—	Indigo II	Rosa III	Weiss I
—	Blau II	Roth III	Hellbläulich I
—	Grün II	Bläulichgrün IV	Grau I
—	Gelb II	Grün IV	Schwarz
Orange II	Grau I	Roth II	Gelb II
—	Hellbläulich I	Indigo III	Grün II
—	Weiss I	Blau III	Blau II
—	Gelb I	Grün III	Indigo II
—	Orange I	Gelb III	Roth I
—	Roth I	Orange III	Orange I
—	Indigo II	Roth II	Gelb I
—	Blau II	Violett III	Weiss I
—	Grün II	Blau III	Hellblau I
—	Gelb II	Grün III	Grau I
—	Orange II	Grün III	Schwarz
Roth II	Grau I	Violett III	Orange II
—	Hellbläulich I	Blau III	Gelb II
—	Weiss I	Grün III	Grün II
—	Gelb I	Gelb III	Blau II
—	Orange I	Rosa III	Indigo II
—	Roth I	Roth III	Roth I
—	Indigo II	Hellroth III	Orange I
—	Blau II	Hellviolett IV	Gelb I
—	Grün II	Bläulichgrün IV	Weiss I
—	Gelb II	Gelblichgrün IV	Hellblau I

Roth II	Orange II	Blassgelbl.-röthl.IV	Grau I
—	Roth II	Hellroth IV	Schwarz
Violett III	Grau I	Blau III	Roth II
—	Hellbläulich I	Grün III	Orange II
—	Weiss I	Gelb III	Gelb II
—	Gelb I	Rosa III	Grün II
—	Orange I	Roth III	Blau II
—	Roth I	Hellviolett IV	Indigo II
—	Indigo II	Bläulichgrün IV	Roth I
—	Blau II	Grün IV	Orange I
—	Grün II	Gelblichgrün IV	Gelb I
—	Gelb II	Blassgelblichroth IV	Weiss I
—	Orange II	Hellroth IV	Hellbläulich I
—	Roth II	Sehr hell roth IV	Grau I
—	Violett III	Hellgrün V	Schwarz

b. Veränderung der Interferenzfarben, wenn der Winkel zwischen zw gleichen über einander liegenden Körpern bei diagonaler Stellung de Schwingungsmediane sich ändert.

Die vorhin erörterten Interferenzfarben beziehen sich auf den Fall, dass d homologen oder heterologen Schwingungsebenen zusammentreffen. Ein ander Problem geben uns 2 doppelbrechende Körper von gleicher Natur und gleicher Dick deren Schwingungsebenen unter verschiedenen Winkeln sich kreuzen. Lassen w zuerst diese Winkel bei diagonaler Stellung der Schwingungsmediane sich ve ändern. In der allgemeinen Intensitätsformel für die diagonale Lage

$$J^2 = \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}^2 2\eta \, (1 - \operatorname{Cos} \delta) + \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta \, (\operatorname{Cos} 2\eta + 1)$$

kann η alle Werthe von 0 bis 180° oder mit andern Worten von — 90° bis - 90° annehmen. Da J^2 sich nicht ändert, wenn man η positiv oder negat nimmt, so kennen wir η durch e ersetzen, wenn e den Winkel zwischen de homologen Schwingungsebenen abgesehen von dem Zeichen ausdrückt. Diese Winkel kann selbstverstandlich nicht grösser als 90° werden. Man hat also

$$\begin{aligned} J^2 &= \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}^2 2e \, (1 - \operatorname{Cos} \delta) + \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos}^2 e \operatorname{Sin}^2 \delta \, (\operatorname{Cos} 2e + 1) \\ &= \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}^2 2e \, (1 - \operatorname{Cos} \delta) + \operatorname{Cos}^4 e \operatorname{Sin}^2 \delta \end{aligned}$$

Hierin bleibt der Phasenunterschied δ constant, in der Meinung jedoch, das er für jede homogene Lichtart einen andern Werth darstellt; e dagegen variir indem sich der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen vergrösser und verkleinert. Aus dieser Gleichung, welche mit Rücksicht auf die variabl Grösse e ein Binom ist, geht schon hervor, dass wenn man e allmälig sich verändern lässt, J^2 für verschiedene Werthe von δ nicht gleichmässig zu- oder abnimmt; mit andern Worten, dass die Intensität für die verschiedenen Elementarstrahlen des Spectrums sich nicht in einem proportionalen Verhältniss verändert und dass daher der Farbenton nicht der nämliche bleiben kann.

Noch bestimmter stellt sich die Farbenänderung heraus, wenn wir die Elementarstrahlen bestimmen, welche bei jedem Werthe von e sich im Maximum und im Minimum der Intensität befinden. Denn wir können daraus mit Sicherheit auf die Mischfarbe aller vereinigten Lichtarten schliessen, welche nahezu die nämliche ist, wie die Farbe jenes Elementarstrahls. Als Resultat einer mathematischen Betrachtung ergibt sich Folgendes.(1) Für jeden Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen ($e = 0 \ldots\ldots 90^\circ$) liefert derjenige Elementarstrahl, dessen $\delta = 0$, kein Licht. Hat e einen zwischen 45° und 90° befindlichen Werth, so ergibt immer derjenige Strahl, dessen δ gleich 180°, die grösste Helligkeit. Beträgt dagegen e zwischen 0 und 45°, so besteht das Maximum für einen Strahl, dessen δ zwischen 90° und 180° liegt; ebenso für einen andern, dessen δ zwischen 180° und 270° und zwar eben so viel über 180° sich befindet als jenes

---

(1) In der Intensitätsformel für die diagonale Stellung

$$J^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\,e\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2 e\,\mathrm{Sin}^2\delta\,(\mathrm{Cos}\,2\,e + 1)$$

sei $\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\,e = a$, ferner $\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2 e = b$ und $\mathrm{Cos}\,2\,e + 1 = c$. Also

$$J^2 = a - a\,\mathrm{Cos}\,\delta + b\,c\,\mathrm{Sin}^2\delta.$$

In dieser Gleichung ist, wenn wir alle Elementarstrahlen berücksichtigen, δ variabel, und einer dieser Strahlen liefert das Maximum oder Minimum der Lichtintensität, welche dadurch angezeigt werden, dass für die Variable (δ) das Differenzial der ganzen Function Null wird. Die Differentiation gibt

$$\frac{a\,\mathrm{Sin}\,\delta\,.\,d\,\delta + 2\,b\,c\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\delta . d\,\delta}{d\,\delta} = 0.$$

Diese Bedingung für Maximum oder Minimum der Lichtintensität ist erfüllt, wenn $\mathrm{Sin}\,\delta = 0$, also $\delta = 0$ oder 180°, und ferner wenn

$$\mathrm{Cos}\ \delta = \frac{-\ a}{2\ b\ c} = \frac{-\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\,e}{\mathrm{Cos}^2 e\,(\mathrm{Cos}\,2\,e + 1)} = -\,\mathrm{Tang}^2 e.$$

Unter welcher Bedingung ein Maximum oder Minimum besteht, muss das zweite Differenzial entscheiden.

$$f_2 = \frac{d\,(a\,\mathrm{Sin}\,\delta) + d\,(2\,b\,c\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\delta)}{d\,\delta} = \frac{d\,(a\,\mathrm{Sin}\,\delta) + d\,(b\,c\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta)}{d\,\delta} = a\,\mathrm{Cos}\,\delta + 2\ b\ c\,\mathrm{Cos}\ 2\ \delta$$

$$= \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\,e\,\mathrm{Cos}\,\delta + \mathrm{Cos}^2 e\ (\mathrm{Cos}\,2\,e + 1)\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta = 2\,\mathrm{Sin}^2 e\,\mathrm{Cos}^2 e\,\mathrm{Cos}\,\delta + 2\,\mathrm{Cos}^4 e\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta.$$

Werden in diese Gleichung die für das erste Differenzial 3 möglichen Werthe eingeführt, so hat man

1) für $\delta = 0$ einen positiven Werth der zweiten Function und somit, wie sich ohnehin von selbst versteht, ein Minimum der Lichtintensität.

2) Für $\delta = 180^0$ wird $f_2 = -\,2\,\mathrm{Sin}^2 e\,\mathrm{Cos}^2 e + 2\,\mathrm{Cos}^4 e = +$. Das Zeichen (+ oder —) dieser Function wird nicht affizirt, wenn man durch $2\,\mathrm{Cos}^4 e$ (welches ein positiver Werth ist) dividirt, und man hat $1 - \mathrm{Tang}^2\ e = \pm$. Die zweite Function gibt einen positiven Ausschlag und man hat somit ein Minimum der Lichtintensität, wenn $e < 45^0$. Man erhält dagegen einen negativen Werth und es ist ein Maximum der Intensität angezeigt, wenn $e > 45^0$.

3) Für $\mathrm{Cos}\,\delta = -\,\mathrm{Tang}^2 e$ hat man

$$f_2 = -\,2\,\mathrm{Sin}^2 e\,\mathrm{Cos}^2 e\,\mathrm{Tang}^2 e + 2\,\mathrm{Cos}^4 e\,(2\ \mathrm{Tang}^2\ e - 1) = +.$$

Indem man durch $2\,\mathrm{Cos}^4 e$ dividirt, erhält man

$$-\ \mathrm{Tang}^4\ e + 2\ \mathrm{Tang}^2\ e - 1 = \mathrm{Tang}^4\ e - 1 = \pm.$$

Die zweite Function ist negativ und zeigt somit ein Maximum der Lichtintensität an, wenn $e < 45^0$. Sie wäre positiv und würde auf ein Minimum deuten, wenn $e > 45^0$; allein diese Werthe von e sind unmöglich; denn $\mathrm{Tang}^2(45^0 + x) > 1$, und $\mathrm{Cos}\,\delta$ kann 1 nicht übersteigen.

Das nämliche Resultat wurde bereits oben für die allgemeine Intensitätsformel erhalten (Pag. 52, Anmerkung).

unter 180° ($\delta = 180^\circ - z$ und $\delta = 180^\circ + z$.) Der Werth von e, welcher da Maximum der Lichtintensität bedingt, hängt von der Grösse von δ ab, nach de Formel $\cos d = -\operatorname{Tang}^2 e$ Ist e sehr klein, so liefert der Strahl, dessen wenig über 90° oder wenig unter 270° liegt, die grösste Helligkeit. Sowie von 0 bis 45° wächst, so nimmt auch δ für das Maximum der Intensität von 90 bis 180° zu und von 270° bis 180° ab. Wenn e 45° erreicht, so gibt derjenig Elementarstrahl das meiste Licht, dessen $\delta = 180^\circ$; ist aber e kleiner als 45°, s liefert derjenige Strahl, dessen $\delta = 180^\circ$, ein relatives Minimum der Intensität; d h. er wird an Intensität übertroffen von denjenigen Strahlen, deren $\delta \gtrless 180^\circ$ is und innerhalb der beiden Werthe von δ liegt, welche die Maxima andeuten.

Aus diesem Verhalten folgt, dass von $e = 0$ bis $e = 45^\circ$ fortwährend Elementarstrahlen mit anderm Gangunterschiede ($\cos \delta = -\operatorname{Tang}^2 e$) zum Maximun der Intensität gelangen, dass somit die Mischfarbe aller vereinigten Lichtarten ändern muss. Von $e = 45^\circ$ bis $e = 90^\circ$ aber behauptet der nämliche Elementarstrahl (derjenige dessen $\delta = 180^\circ$) das Maximum und daher muss auch die Mischfarbe ungefähr dieselbe bleiben (sie bleibt nicht genau dieselbe, da wie ich scho gesagt habe, das Verhältniss der einzelnen Elementarstrahlen sich ändert). An deutlichsten stellt sich das Verhalten dar, wenn man die Intensitätscurven für di verschiedenen Elementarstrahlen bei veränderlichem e construirt. In Fig. 41 sin auf der Abszissenaxe die Werthe für e (η) von 0 bis 90° verzeichnet, auf de entsprechenden Punkten die Ordinaten errichtet, welche den Lichtintensitäten für di verschiedenen Werthe von δ proportional sind, und aus diesen die Intensitätscurven construirt. Wenn $\delta = 0$ oder 360°, so ist die Intensität immer 0 und di Intensitätscurve fällt mit der Abszisse zusammen. Wenn $\delta = 45^\circ$ oder 315° so nimmt die Intensität von $e\,(\eta) = 0$ bis $e\,(\eta) = 90^\circ$ ab, wie es die Curve zeigt. Das Nämliche hat statt, wenn $\delta = 60^\circ$ oder 300° und $\delta = 90^\circ$ oder 270°. Fü die mittlern Werthe von δ (zwischen 0, 45°, 60° und 90°, ebenso zwischen 360°, 315°, 300° und 270°) liegen die Intensitätscurven zwischen den verzeichnete und haben mit denselben die gleiche Form. Wenn $\delta > 90^\circ$ oder $< 270^\circ$, s nimmt die Intensität zuerst zu, bis sie die Einheit (das Maximum) erreicht, un dann wieder ab. Die Intensitätscurve für $\delta = 120^\circ$ oder $= 240^\circ$ erreicht da Maximum bei $e\,(\eta) = 35^\circ\ 14'$, diejenige für $\delta = 135^\circ$ oder $= 225^\circ$ bei $e\,(\eta) = 40^\circ\ 4'$ und diejenige für $\delta = 180^\circ$ bei $e\,(\eta) = 45^\circ$. Die Werthe von δ, welch zwischen 90°, 120° und 180°, ebenso zwischen 270°, 240° und 180° liegen, geben auch mittlere Intensitätscurven, d. h. solche, welche das Maximum zwischen $e\,(\eta) = 0$, $e\,(\eta) = 35^\circ\ 14'$ und $e\,(\eta) = 45^\circ$ erreichen. Diess heisst in Worten ausgesprochen: Wenn die homologen Schwingungsebenen der beiden über einander gelegten doppelbrechenden Körper sich decken ($e = 0$), so gibt derjenige Elementarstrahl die grösste Intensität, dessen Phasenunterschied (δ) in dem einzelnen Körper 90° beträgt. Sowie man den Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen erweitert ($e > 0$), so kommen nach und nach alle Elementarstrahlen ins Maximum, deren Gangunterschiede grösser als 90° sind, zuletzt derjenige, dessen $\delta = 180^\circ$, bei einem Winkel der Schwingungsebenen von 45°.

Es muss also die Farbe von $e = 0$ bis $e = 45^\circ$ wechseln; aber der Wechsel ist ein anderer, als er in der gewöhnlichen Farbenskale statt hat. Die letztere entsteht dadurch, dass in dem doppelbrechenden Körper von einer bestimmten Dicke jeder Elementarstrahl in seinen beiden Componenten einen bestimmten Phasenunterschied (δ) erreicht hat, welcher mit dem Dicker- oder Dünnerwerden des Körpers in entsprechendem Maasse zu- oder abnimmt, und zwar am raschesten bei den violetten, am langsamsten bei den rothen Elementarstrahlen. Beträgt δ zwischen n und $n + {}^{1}/_{2}$ Wellenlängen (worin n entweder 0 oder eine ganze positive Zahl darstellt), so nimmt die Lichtintensität des betreffenden Elementarstrahls mit dem Dickerwerden des Körpers zu, mit dem Dünnerwerden ab. Hat δ einen Werth zwischen $n + {}^{1}/_{2}$ und $n + 1$ Wellenlängen erreicht, so findet das Umgekehrte statt. Nach diesen Normen ändern die Farben der gewöhnlichen Reihe, wie die Figuren 18 und 43 zeigen. — In dem vorliegenden Falle dagegen ändern die Intensitäten der einzelnen Elementarstrahlen nach ganz andern Regeln, wenn der Winkel (e) zwischen den Schwingungsebenen erweitert oder verengert wird. Erstlich hängt die Zu- und Abnahme bloss von der Grösse des Phasenunterschiedes (δ), welchen ein Elementarstrahl in einem Körper erlangt hat, ab und ist unabhängig von der Verschiedenheit der Elementarstrahlen; der rothe und violette verhalten sich gleich. Zweitens nehmen alle Elementarstrahlen, deren δ zwischen n und $n + {}^{1}/_{4}$, sowie zwischen $n + {}^{3}/_{4}$ und $n + 1$ Wellenlängen beträgt, bei Erweiterung von e an Intensität ab. Alle Strahlen aber, deren Gangunterschied zwischen $n + {}^{1}/_{4}$ und $n + {}^{3}/_{4}$ beträgt, nehmen an Lichtstärke zu bis $e = 45^\circ$ und von da ab, wie diess in Fig 41 deutlich ist. Berücksichtigen wir nur die Veränderungen von $e = 0$ bis $e = 45^\circ$, so müssen wir im Allgemeinen sagen, dass 2 Strahlen, deren δ ungleichen Quadranten angehört, mit Rücksicht auf Zu- oder Abnahme sich gleich verhalten, wenn in der gewöhnlichen Farbenskale ungleich, und umgekehrt.

Der Versuch bestätigt diese theoretischen Folgerungen. Wenn man z. B. 2 Crystallplättchen, von denen jedes Blassbläulich der I. Ordnung gibt, so auf einander legt, dass die homologen Schwingungsebenen sich decken ($e = 0$), so geben sie in der diagonalen Stellung Gelb I (complementäres Bild Hellindigo). Verschiebt man die homologen Schwingungsebenen, so dass sie einen Winkel (e) von $22 {}^{1}/_{2}$ bilden, so ist bei diagonaler Stellung der Schwingungsmediane die Farbe heller gelb (complementäre Farbe Indigo). Erweitert man e auf 45°, so wird die Farbe weiss (die complementäre Farbe dunkelgelb; der Uebergang im complementären Bilde geschieht bei einem Winkel von 30°—33° durch Schmutzigviolett und Schmutzigbraun). Wenn $e = 67 {}^{1}/_{2}{}^\circ$, so erscheint das gewöhnliche Bild bläulichweiss (das complementäre glänzendweiss). — Ich will noch für einige Farben die Veränderungen in gleicher Weise angeben.[1]

---

(1) Für diese und ähnliche Versuche dienen 2 runde Cartonscheiben mit weiter Durchbrechung in der Mitte, und mit Gradtheilung am Umfange. Auf der untern Seite ist jeder ein Blatt Papier mit kleiner runder Oeffnung in der Mitte aufgepappt. Auf dieses Papier in die durchbrochene Stelle des Cartons werden die Crystallplättchen gelegt. Die beiden Scheiben, von denen die obere etwas kleiner ist, können nach Belieben auf einander gedreht und in jede bestimmte Stellung zu einander und zu der ebenfalls mit einer Gradtheilung versehenen Scheibe des Tisches gebracht werden.

2 Crystallplättchen	$e = 0$	$e = 22\frac{1}{2}°$	$e = 45°$	$e = 67\frac{1}{2}°$
Grau I	Hellbläulich (Orange)	Weniger hell bläulich (Hellorange)	Bläulich (Weissorange)	Dunkelbläulich (Weiss)
Hellbläulich I	Gelb (Hellindigo)	Hellgelb (Indigo)	Weiss (Dunkelgelb)	Bläulichweiss (Glänzendwei
Weiss I	Violett (Gelb)	Hellviolett (Dunkelgelb)	Weiss (Dunkelviolett)	Gelblichweiss (Weiss)
Gelb I	Blau (Orange)	Hellgrünlich (Roth)	Gelborange (Blauindigo)	Gelb (Weiss)
Orange I	Gelb (Hellindigo)	Gelb (Blau)	Dunklergelb (Hellerblau)	Dunkelgelb (Bläulichweiss
Roth I	Roth (Grün)	Roth (Grün)	Dunklerroth (Hellgrün)	Dunkelroth (Weiss)
Blau II	Grünlichgelb (Violett)	Blaugrün (Roth)	Blau (Orange)	Blau (Hellorange)
Grün II	Roth (Blaugrün)	Weiss (Rothorange)	Grün (Orange)	Dunklergrün (Weiss)
Gelb II	Grün (Roth)	Gelb (Indigo)	Dunklergelb (Blau)	Dunkelgelb (Weiss)

Der Uebergang aus der Stellung, wo $e = 0$, in diejenige wo $e = 45°$, g
schieht fast so, als ob man die beiden Farben über einander legte, wobei nati
lich die mittleren Töne um so heller und um so näher dem Weiss erschein
je weiter jene beiden Grenzfarben im Farbenkreise auseinander liegen. Es
einleuchtend, dass dabei nach einander die Nummern der Farbenskale zwar u
rein und oft undeutlich zum Vorschein kommen müssen, ferner dass es b
in aufsteigender, bald in absteigender Folge geschieht; diess entspricht der aus
Construction ersichtlichen und bereits hervorgehobenen Thatsache, dass zwisch
$e = 0$ und $e = 45°$ nach einander die zwischenliegenden Elementarstrahlen zum Ma
mum der Intensität gelangen. — Die beiden Crystallplättchen, von denen je
Gelb I gibt, verwandeln das Blau ($e = 0$) durch Hellgrünlich und Grünlichwe
in Gelborange ($e = 45°$); der Uebergang zeigt sich deutlicher im complementä
Bilde, indem dort Orange durch Roth und Indigo in Blauindigo sich umsetzt.
beiden Crystallplättchen Grün II liefern, über einander gelegt, Roth ($e = 0$), welc
durch Weissgelb, Weiss, Grünlichweiss in Grün ($e = 45°$) übergeht; im compl
mentären Bilde verwandelt sich Blaugrün durch Indigo, Hellviolett und Rothora
in Orange. In dem ersten dieser beiden Beispiele geschieht der Uebergang
aufsteigender, im zweiten in absteigender Richtung durch die Farbenskale.

Die Farbe, welche man in der Stellung $e = 45°$ erhält, ist immer der Far
welche die einzelne Crystallplatte gibt, sehr ähnlich. Der Grund davon lä
sich erst nachweisen, wenn von der Wirkung die Rede sein wird, welche
Drehen eines festverbundenen Plattenpaars um seine vertikale Axe hervorbrin
Man kann somit, wenn man die Farbe einer Platte und des Plattenpaars bei übe

einstimmenden Schwingungsebenen kennt, zum Voraus die Veränderungen angeben, welche die Erweiterung von e hervorbringen muss. Blau II und Blau II geben Grüngelb III, wenn $e = 0$, welche Farbe durch Blaugrün in Blau übergeht, wenn man e bis auf 45° erweitert. — Weiss I und Weiss I geben Violett II, wenn $e = 0$, und Weiss, wenn $e = 45°$. Der Uebergang von Violett zu Weiss geschieht durch Hellviolett (im complementären Bild verwandelt sich Gelb durch Dunkelgelb, Grünlichgrau, Bläulichgrau und Indigo in Violett). — Roth I und Roth I geben Roth II, wenn $e = 0$; erweitert man e auf 45°, so verändert sich das Roth nicht bemerkbar.

c. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Winkel zwischen zwei gleichen über einander liegenden Körpern bei orthogonaler Stellung der Schwingungsmediane sich ändert.

Es ist nun ferner zu untersuchen, wie sich bei orthogonaler Stellung zwei über einander liegende Körper verhalten, wenn der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen verändert wird. In dieser Stellung ist (Pag. 46)

$$J^2 = {}^1/_2 \, \mathrm{Sin}^2 \, 2\,\eta \, (1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + {}^1/_2 \, \mathrm{Cos}^2 \,\eta \, \mathrm{Sin}^2 \,\delta \, (\mathrm{Cos}\, 2\,\eta - 1)$$

oder wenn man auch hier η durch e ersetzt (vd. Pag. 70)

$$J^2 = {}^1/_2 \, \mathrm{Sin}^2 \, 2\,e \, (1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + {}^1/_2 \, \mathrm{Cos}^2 \, e \, \mathrm{Sin}^2 \,\delta \, (\mathrm{Cos}\, 2\,e - 1)$$
$$= {}^1/_2 \, \mathrm{Sin}^2 \, 2\,e \, (1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \mathrm{Cos}^2 \, e \, \mathrm{Sin}^2 \, e \, \mathrm{Sin}^2 \,\delta$$

Dieser Ausdruck ist mit Rücksicht auf die variable Grösse e ein Monom. Daher muss J^2 für verschiedene Werthe von δ gleichmässig zu- oder abnehmen, und da die Intensität aller Elementarstrahlen in gleicher Proportion sich ändert, so muss auch die aus ihrer Vereinigung entspringende Mischfarbe die nämliche bleiben.[1] — Wir können also für die orthogonale Stellung, gestützt auf die Theorie, Folgendes aussagen. Wenn die homologen Schwingungsebenen sich decken ($e = 0$), so hat man für jeden Elementarstrahl gänzlichen Lichtmangel. So wie sie auseinander weichen, steigt die Lichtintensität und erreicht ihr Maximum, wenn $e = 45°$. Sie nimmt dann wieder ab und wird Null, wenn $e = 90°$. Der Farbenton bleibt derselbe, er wird nur heller und wieder dunkler. — Die Beobachtung bestätigt diess. Zwei Körper, von denen jeder Blau der II. Ordnung gibt, zeigen über einander gelegt in der orthogonalen Stellung bei jedem Werthe von e Indigo, am hellsten aber wenn $e = 45°$. Ebenso hat man

---

(1) Das gleiche Resultat erhält man, indem man auf dem Wege der Differenziation die Maxima und Minima von J^2 bestimmt. Das erste Differenzial gibt

$$\tfrac{1}{2} \, \mathrm{Sin}^2 \, 2\,e \, \mathrm{Sin}\,\delta + \mathrm{Cos}^2 \, e \, (\mathrm{Cos}\, 2\,e - 1) \, \mathrm{Sin}\,\delta \, \mathrm{Cos}\,\delta = 0.$$

In dieser Gleichung kann

$$\delta = 0, \delta = 180^\circ \text{ und } \mathrm{Cos}\,\delta = \frac{-\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\, 2\,e}{\mathrm{Cos}^2\, e \, (\mathrm{Cos}\, 2\,e - 1)} = \frac{-2\,\mathrm{Sin}^2\, e \, \mathrm{Cos}^2\, e}{\mathrm{Cos}^2\, e \, (-2\,\mathrm{Sin}^2\, e)} = 1$$

sein. Die weitere Differenziation ergibt, dass die Werthe $\delta = 0$ und $\mathrm{Cos}\,\delta = 1$ (woraus ebenfalls $\delta = 0$ folgt) das Minimum, der Werth $\delta = 180°$ aber das Maximum der Lichtintensität bedingen. Es behauptet also der Elementarstrahl, dessen beide Componenten um eine halbe Wellenlänge differiren, unabhängig von e fortwährend die Stelle des Maximums.

2 Crystallplättchen	$e = 45^\circ$	$e = 22^1/_2{}^\circ$ und $67^1/_2{}^\circ$	$e = 0$ und 90°
Weiss I	Weiss (Violett)	Gelblichweiss (Weiss)	Schwarz (Weiss)
Gelb I	Hellorange (Blau)	Orange (Hellblau)	Schwarz (Weiss)
Roth I	Violett (Gelblichweiss)	Dunkelviolett (Weiss)	Schwarz (Weiss)
Gelb II	Gelborange (Hellblau)	Dunkelorange (Bläulichweiss)	Schwarz (Weiss)

Die in ( ) befindlichen Farben sind die des complementären Bildes. — Der Ton, den die Stellung $e = 45^\circ$ gibt, ist von der Farbe jedes der beiden angewendeten Crystallplättchen wenig verschieden.

d. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn zwei festverbundene gleiche Körper um die verticale Axe gedreht werden.

Nachdem ich mich damit beschäftigt habe, wie die Farben sich verhalten, wenn in der diagonalen oder in der orthogonalen Stellung der Winkel (η) zwischen den homologen Schwingungsebenen zweier über einander gelegter doppelbrechender Körper sich verändert, komme ich auf ein zweites Problem. Dasselbe bezieht sich auf das Verhalten der Farbe, wenn die beiden Körper mit irgend einem Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen fest verbunden sind (also η constant) und um ihre verticale Axe gedreht werden (also ε allein variabel). Die allgemeine Intensitätsformel ist

$$J^2 = {}^1/_2 \operatorname{Sin}^2 2\eta (1 - \operatorname{Cos} \delta) + {}^1/_2 \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta [\operatorname{Cos} 2\eta - \operatorname{Cos} (4\varepsilon + 2\eta)].$$

Wenn hierin ${}^1/_2 \operatorname{Sin}^2 2\eta (1 - \operatorname{Cos} \delta) = a$ und ${}^1/_2 \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta \operatorname{Cos} 2\eta = b$ gesetzt werden, so ist $J^2 = a + b - {}^1/_2 \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta \operatorname{Cos}(4\varepsilon + 2\eta)$; und da $\operatorname{Cos}(4\varepsilon + 2\eta) = \operatorname{Cos} 4\varepsilon \operatorname{Cos} 2\eta - \operatorname{Sin} 4\varepsilon \operatorname{Sin} 2\eta$ ist, so hat man auch $J^2 = a + b - b \operatorname{Cos} 4\varepsilon + {}^1/_2 \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta \operatorname{Sin} 4\varepsilon \operatorname{Sin} 2\eta$; ferner wenn ${}^1/_2 \operatorname{Cos}^2 \eta \operatorname{Sin}^2 \delta \operatorname{Sin} 2\eta = c$ gesetzt wird, so ist

$$J^2 = a + b - b \operatorname{Cos} 4\varepsilon + c \operatorname{Sin} 4\varepsilon.$$

In dieser Formel, welche die Intensität des Elementarstrahles ausdrückt, sind a, b und c Constanten, $\operatorname{Cos} 4\varepsilon$ und $\operatorname{Sin} 4\varepsilon$ variabel. Die Formel ist ein Trinom; und wenn die Constanten für verschiedene Lichtarten andere Werthe annehmen (δ_1, δ_2, δ_3 . . . .), so verändern sich ihre Intensitäten ($J_1{}^2$, $J_2{}^2$, $J_3{}^2$ . . .) für den Fall, dass man zugleich ε variiren lässt, nicht proportional. Daraus folgt, dass für verschiedene Werthe von ε die Vereinigung aller Elementarstrahlen ungleiche Farbentöne gibt.

Diess zeigt auch die Construction (Fig. 42), in welcher der bestimmte Fall angenommen wurde, dass der Winkel (η) zwischen den homologen Schwingungsebenen $22\frac{1}{2}^\circ$ betrage. Auf der Abszissenaxe sind die verschiedenen Werthe für ε verzeichnet von $33\frac{3}{4}^\circ$, welcher Winkel der diagonalen Stellung entspricht, bis $78\frac{3}{4}^\circ$, welcher Winkel die orthogonale Stellung ausdrückt.[1] Die Ordinaten

---

(1) Die gleiche Construction gilt auch für $\eta = -22\frac{1}{2}^\circ$ oder $\eta = 157\frac{1}{2}^\circ$; in diesem Falle variirt aber der Winkel ε zwischen $56\frac{1}{2}^\circ$ (diagonale Stellung) und $101\frac{1}{2}^\circ$ (orthogonale Stellung).

zeigen die Lichtintensitäten der Elementarstrahlen (J^2) an, welche in bestimmten Gangunterschieden (δ) sich befinden; ihre Endpunkte sind zu Intensitätscurven verbunden. Die Curven sind für $\delta = 45°$ oder $315°$, $60°$ oder $300°$, $90°$ oder $270°$, $120°$ oder $240°$ und $180°$ ausgeführt. Wenn $\delta = 0$, so ist J^2 überall $= 0$ und die Curve fällt mit der Abszissenaxe zusammen. Wenn $\delta = 180°$, so ist J^2 überall $= \frac{1}{2}$ und die Intensitätscurve läuft mit der Abszissenaxe parallel.

Wenn der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen $22\frac{1}{2}°$ beträgt, so nimmt bei der diagonalen Stellung die Lichtintensität von Null an zu, so wie δ von 0 angefangen grösser wird, und erreicht das Maximum ($J^2 = 1$), wenn $\delta = 80° 4'$. Wächst δ über $80° 4'$, so nimmt die Intensität wieder ab und erreicht bei $\delta = 180°$ ein relatives Minimum ($J^2 = \frac{1}{2}$). Wenn δ über $180°$ steigt, so nimmt J^2 zu bis $\delta = 279° 56'$ und erreicht hier das zweite Maximum ($J^2 = 1$). Dann nimmt die Intensität ab, bis sie bei $\delta = 360°$ Null wird. — Bei der orthogonalen Stellung ($\varepsilon = 78\frac{3}{4}°$) vermehrt sich die Intensität von 0 bis $\frac{1}{2}$, während δ von 0 bis $180°$ zunimmt. Dann vermindert sie sich in umgekehrter Weise von $\frac{1}{2}$ bis 0, während δ von $180°$ bis $360°$ wächst. — Bei diagonaler Stellung zeigt demnach ein anderer Elementarstrahl die grösste Intensität als bei orthogonaler; für den vorliegenden Fall ($\eta = 22\frac{1}{2}°$) ist es dort derjenige, dessen Phasenunterschied $= 80° 4'$ oder $279° 56'$, hier derjenige, dessen $\delta = 180°$. Die diagonale und orthogonale Stellung geben auch immer die grössten Verschiedenheiten in der Farbe, weil dort die Intensitäten der verschiedenen Elementarstrahlen in ihren relativen Verhältnissen am meisten von einander abweichen. Die intermediären Stellungen liefern die Uebergänge der Farben. Eine dieser Zwischenstellungen gibt die Farbe des einfachen Crystallplättchens; es ist diejenige, wo $\varepsilon = 90° - \eta$, weil dort das andere Crystallplättchen, dessen Schwingungsebenen mit denen der beiden Polarisationsprismen zusammenfallen, unwirksam wird.

Es ergibt sich unmittelbar aus der Intensitätsformel und bedarf kaum erwähnt zu werden, dass die verschiedenen diagonalen Stellungen die nämliche Helligkeit des Elementarstrahls und somit die nämliche Farbe hervorbringen, ebenso dass alle orthogonalen Stellungen sich untereinander gleich verhalten, endlich, dass überhaupt die acht Octanten einer vollständigen Drehung identisch sind, in der Art, dass Zu- und Abnahme in je zwei benachbarten eine symmetrische Anordnung zeigen. — Ebenso geht unmittelbar aus der Formel hervor, dass statt η auch $180° - \eta$ oder $-\eta$ gesetzt werden kann, ohne den Werth von J^2 zu ändern, wenn zugleich ε durch $\varepsilon + \eta$ ersetzt wird. Mit andern Worten, ein gewisser Abstand zwischen den beiden homologen Schwingungsebenen gibt die gleiche Interferenzfarbe, es mag jener Abstand der Richtung nach positiv oder negativ sein, wenn dabei die beiden Schwingungsebenen einfach ihre Lage vertauschen. Es besteht also keine Verschiedenheit im Effekt, wenn die beiden doppelbrechenden Körper in irgend einer der Lagen sich befinden, welche die Figuren 36, 29, 25 zeigen, vorausgesetzt, dass die Winkel zwischen der Abszissenaxe und der nächsten Schwingungsebene (sie mag dem ersten oder zweiten Körper angehören), ebenso anderseits zwischen dieser und der folgenden homologen Ebene gleich sind. Wir können daher, wie früher, den Winkel zwischen den gleichnamigen Schwingungsebenen durch e bezeichnen, wobei da Zeichen vernachlässigt und daher e durchgängig positiv genommen werden kann.

Die beiden extremen Farben der diagonalen und orthogonalen Stellung weichen bald mehr, bald weniger von einander ab. Diess hängt von dem Winkel ab. Ist e = 0, so wirken die beiden Crystallplättchen wie ein einziges, und verändern beim Drehen um die verticale Axe nicht die Farbe, sondern nur di Helligkeit. Ist e sehr klein, so sind auch die Verschiedenheiten zwischen de Farben der diagonalen und orthogonalen Stellung sehr gering. Sie wachsen m der Zunahme von e. — Wenn die homologen Schwingungsebenen um 45° vo einander abstehen, so ist die Intensität des Elementarstrahls $\frac{1}{2}(1-\mathrm{Cos}\,\delta$ $\pm \frac{1}{4}\mathrm{Sin}^2\delta\,\mathrm{Sin}\,4\varepsilon$ (das positive Zeichen des zweiten Ausdruckes gilt, wenn $\eta =$ $+45°$, das negative, wenn $\eta = -45°$ ist); bei diagonaler Stellung ist $J^2 =$ $\frac{1}{2}(1-\mathrm{Cos}\,\delta)+\frac{1}{4}\mathrm{Sin}^2\delta$, — bei orthogonaler Stellung $J^2 = \frac{1}{2}(1-\mathrm{Cos}\,\delta)-\frac{1}{4}\mathrm{Sin}^2\delta$ Das Maximum der Lichtintensität besteht in diesen drei Formeln, wenn $\delta = 180°$ dann ist $J^2 = 1$. Es behauptet also der nämliche Elementarstrahl die grösst Helligkeit, wenn bei e = 45° das Plättchenpaar aus der diagonalen in die orthogonale Stellung gedreht wird. Das Verhältniss der Intensitäten, welche die übrigen Elementarstrahlen liefern, bleibt aber nicht das Nämliche, weil die Forme ein Binom ist. Daraus folgt, dass auch der Farbenton zwar nicht vollkommen derselbe bleibt, dass er aber nur sehr wenig ändert; und da ein zwischen der Extremen liegender mittlerer Ton die Farbe des einen Crystallplättchens selbe ist (wie vorhin gezeigt wurde), so können wir überhaupt sagen, dass zwei übereinander liegende doppelbrechende Körper von gleicher Beschaffenheit, wenn der Winkel zwischen ihren homologen Schwingungsebenen 45° beträgt, beim Drehen um ihre verticale Axe immer nahezu die nämliche Farbe zeigen wie einer derselben allein.

Man hat also zwischen diagonaler und orthogonaler Stellung keine Differenz im Farbenton, sondern nur in der Helligkeit, wenn der Winkel (e) zwischen den homologen Schwingungsebenen 0 ist. Die Differenzen nehmen erst langsamer, dann rascher zu bis e = 22½; sie nehmen bei dem weitern Wachsthum von e erst rascher, dann langsamer ab; bei e = 45° sind sie schon gering, und verschwinden um so vollständiger, je mehr e sich 90° nähert.

Ich will ein Beispiel anführen. Legt man 2 Crystallplättchen, von denen jedes Blaugrün der II. Ordnung gibt, so über einander, dass die homologen Schwingungsebenen sich decken (e = 0), so erscheinen sie bei diagonaler Stellung hellrothorange (complementäres Bild blau), welche Farbe sich beim Drehen nicht ändert. Wenn e einen Winkel von wenigen Graden darstellt, so hat man die nämliche Erscheinung. Ist e = 22½°, so zeigt die diagonale Stellung ein sehr helles Gelblichweiss (das complementäre Bild ist hellila), die orthogonale Stellung dagegen gibt Blaugrün (complementäres Bild Hellroth). Ist e = 45°, so hat man bei diagonaler Stellung ein helles Blau (complementäres Bild intensiv orange), bei orthogonaler Stellung Grünlichblau (complementäres Bild Hellrothorange). Ist e = 67½°, so bleibt beim Drehen die Farbe in allen Stellungen fast das nämliche Blaugrün (complementäre Farbe Hellrothorange). — Ich stelle noch einige Beispiele zusammen:

2 Crystallplättchen	Diagonale Stellung	Orthogonale Stellung
Grau I $e = 22\frac{1}{2}°$	Hellblau (Hellorange)	Dunkelblau (Weiss)
Weiss I $e = 22\frac{1}{2}°$	Hellviolett (Dunkelgelb)	Gelblichweiss (Weiss)
— $e = 45°$	Weiss (Dunkelviolett)	Weiss (Violett)
Gelb I $e = 22\frac{1}{2}°$	Hellgrünlichgelb (Roth)	Orange (Hellblau)
— $e = 45°$	Gelborange (Blauindigo)	Hellorange (Blau)
Roth I $e = 22\frac{1}{2}°$	Roth (Grün)	Dunkelviolett (Weiss)
Gelb II $e = 22\frac{1}{2}°$	Gelb (Indigo)	Dunkelorange (Bläulichweiss)

Die Plättchen Grau I, Roth I und Gelb II geben bei $e = 45°$ wenig abweichende Farben. Die in ( ) eingeschlossenen Angaben beziehen sich auf das complementäre Bild.

e. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn zwei gleiche Körper in gleicher Lage ihre Dicke ändern.

Ein drittes Problem für zwei über einander liegende gleiche doppelbrechende Körper wäre ferner das Verhalten der Farben, wenn bei gleicher Stellung (also bei unverändertem η und ε) sich bloss die Dicke derselben ändert (also δ variabel). Es lohnt sich nicht der Mühe, diese Frage für die verschiedenen möglichen Stellungen (d. h. für die verschiedenen Werthe von η und ε) zu lösen. Ich will nur einen Fall betrachten, um eine Vorstellung zu geben, wie die Farben mit zunehmender Dicke der doppelbrechenden Körper sich ändern, und wähle eines der Beispiele, wo die Intensitätscurven zwei Maxima und ein relatives Minimum zwischen denselben zeigen.

Die Construction in Fig. 44 gibt die Intensitätscurven für den Fall, dass der Winkel zwischen den beiden doppelbrechenden Körpern 30° beträgt und die Schwingungsmediane diagonal gestellt ist (vgl. Pag. 56 Tab. A, $\eta = \pm 30°$). Wie für Fig. 43 wurden die Wellenlängen der 7 Hauptstrahlen nach den auf Pag. 6 angegebenen Werthen angenommen, und die Curven wie in Fig. 39 ($\eta = 30°$) construirt.[1] — In der folgenden Tabelle ist für die 24 ersten Verticalen die resultirende Mischfarbe berechnet worden; die Rechnung wurde wie für Fig. 43 (vgl. Pag. 62) ausgeführt.

Verticale	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Roth	Weiss	Summe
1	6	$196\frac{1}{2}$	—	—	—	—	2124	$2326\frac{1}{2}$
2	10	$364\frac{1}{2}$	—	—	—	—	6330	$6704\frac{1}{2}$
3	—	—	248	32	—	—	8400	8680
4	—	—	—	—	612	23	7200	7835
5	200	—	—	—	—	122	6852	7174
6	32	397	—	—	—	—	7296	7725

---

(1) Der Raum einer Wellenlänge wurde nämlich in 360 Theile getheilt, so dass die Abszissen durch eine bestimmte Zahl von Graden (δ) gemessen werden. Die Höhe der Ordinaten entspricht dem Werthe $0{,}375\,(1 - \operatorname{Cos}\delta) + 0{,}5625\,\operatorname{Sin}^2\delta$).

Verticale	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Roth	Weiss	Summe
7	—	—	421	355½	—	—	6912	7688½
8	—	—	—	543	1975	—	3346½	5864½
9	—	—	—	—	2386	589	891	3866
10	1254	—	—	—	—	891	1110	3255
11	1732	983½	—	—	—	—	1080	3795½
12	—	1278½	1330	—	—	—	2205	4813½
13	—	50½	2526	—	—	—	3681	6257½
14	—	—	478	279	—	—	6798	7555
15	50	—	—	—	—	48	7482	7580
16	—	—	—	247	58	—	6354	6659
17	—	—	—	801	894	—	4152	5847
18	—	—	—	467	2440	—	2811	5718
19	—	—	—	—	1571	650	3595½	5816½
20	1618	—	—	—	—	903	3168	5689
21	3464	—	—	—	—	162	1962	5588
22	1998	621	—	—	—	—	2952	5571
23	—	698½	1488	—	—	—	3126	5312½
24	—	—	3745	217½	—	—	1104	5066½

Wenn die Dicke zweier übereinander liegender gleicher Körper allmälig zunimmt, so ändern sich die Interferenzfarben und bilden eine Skale mit periodischer Wiederholung der Töne. Diese Farbenordnungen können aber nicht auf einem Keil neben einander gesehen werden; denn wenn man zwei gleiche keilförmige Platten mit einem Winkel von 30° über einander legt, so entspricht nur eine Linie den gestellten Bedingungen. Man erhält also die Farben bloss dadurch, dass man nach einander Plattenpaare von verschiedener Dicke anwendet. Die Beobachtung stimmt für den angeführten Fall ($e = 30^\circ$) genau mit der Rechnung überein; ich füge zur Vergleichung eine Tabelle mit den Beobachtungsresultaten bei. In der ersten Columne ist die Interferenzfarbe, welche jedes der beiden über einander gelegten Gypsplättchen für sich gibt, in der zweiten die bei diagonaler Stellung resultirende Farbe, in Parenthese die Farbe des complementären Bildes, und in der dritten Columne die entsprechende Verticale der vorstehenden Tabelle enthalten.

Plättchenpaar	Resultirende Farbe	Verticale
Grau I	Hellbläulich (Orange)	1
Hellbläulich I	Weiss (Dunkelbraun)	2
Weiss I	Weiss (Dunkelblau)	4
Gelb I	Hellgrünlichgelb (Dunkelindigo)	7
Orange I	Gelb (Blau)	8
Roth I	Roth (Grün)	9—10
Violettindigo II	Indigo (Gelb)	11
Blau II	Grünlichblau (Orange)	12
Grün II	Hellgrün (Orange)	13—14
Gelbgrün II	Weiss (Dunkelgrün)	15
Gelb II	Gelb (Blauindigo)	16—17
Orange II	Orange (Blau)	18—19

Plättchenpaar	Resultirende Farbe	Verticale
Roth II	Roth (Grün)	20
Violett III	Violett (Gelbgrün)	21
Blau III	Blau (Orange)	22—23
Grün III	Grün (Roth)	24

Die Vergleichung der Zahlentabelle auf Pag. 79/80 mit derjenigen auf Pag. 64/65 zeigt deutlich, wie sehr die Farben zweier Crystallplättchen, die mit einem Winkel von 30° zwischen den homologen Schwingungsebenen über einander liegen, von denen der gewöhnlichen Skale abweichen. Entsprechend dem eigenthümlichen Verlaufe der Intensitätscurven gehen in dem Plättchenpaar 4 Farbenordnungen (Verticale $1 - {}^{19}/_{10}$) auf 2 des Keils; die dritte und vierte Ordnung sind nur fragmentarisch vertreten. Die Abweichungen in den höhern Ordnungen werden noch grösser.

f. Vergleichung der Interferenzfarben zweier übereinander liegender Körper mit denen eines einzigen Körpers.

Ich habe gezeigt, dass wenn 2 Crystallplättchen über einander liegen, und wenn man in einer bestimmten Stellung den Winkel, den die homologen Schwingungsebenen bilden, erweitert oder verengt (η variabel, $\varepsilon + {}^1/_2\,\eta$ oder $\varepsilon - {}^1/_2\,\eta$ und δ constant), oder wenn man das festverbundene Plättchenpaar um seine verticale Axe dreht (ε variabel, η und δ constant), oder wenn man die Plättchen bei gleicher Stellung dicker werden lässt (δ variabel, η und ε constant), die Farbenübergänge andere sind als in der Newton'schen Reihe. Es kann aber allgemein beigefügt werden, dass überhaupt die Farben, welche unter solchen Verhältnissen sichtbar werden, eine andere Natur haben als diejenigen, welche ein Crystallkeil oder einfache Crystallplättchen von verschiedener Dicke geben. Im Keil oder im einfachen Crystallplättchen hat bei einer bestimmten Dicke jeder Elementarstrahl die Intensität

$$J^2 = {}^1/_2\,(1 - \operatorname{Cos}\delta).$$

Liegen 2 Crystallplättchen über einander, so dass ihre Schwingungsebenen einen Winkel (η) bilden, so ist

$$J^2 = {}^1/_2\,\operatorname{Sin}^2 2\,\eta\,(1 - \operatorname{Cos}\delta) + {}^1/_2\,\operatorname{Cos}^2\eta\,\operatorname{Sin}^2\delta\,[\operatorname{Cos} 2\,\eta - \operatorname{Cos}(4\,\varepsilon + 2\,\eta)].$$

Es ist klar, dass für verschiedene Elementarstrahlen (d. h. für verschiedene Werthe von δ) die Intensitäten (J^2) in der ersten Formel in anderm Verhältnisse sich ändern als in der zweiten, dass daher die Mischfarben eine andere Zusammensetzung haben. Eine Farbe, welche durch ein Plättchenpaar (wenn $\eta > 0$) geliefert wird, entspricht also nicht einer ähnlichen Farbe der gewöhnlichen Reihe; man kann sie nicht durch eine solche Farbe, indem man die Schwingungsebenen des einfachen Plättchens auf die Mediane der heterologen Schwingungsebenen des Plättchenpaar's treffen lässt, zu Schwarz vernichten; statt des letztern hat man irgend eine dunkle Farbe. Auch erhält man häufig durch ein Plättchenpaar eine Farbennüance, die in der gewöhnlichen Reihe nicht vorkommt. In dieser findet sich z. B. das Weiss nicht in der zweiten und dritten Ordnung; zwei mit einem Winkel

über einander liegende doppelbrechende Körper können das Weiss aber in
Ordnungen geben, insofern es überhaupt gestattet ist, hier noch von Ordnun
zu sprechen. Ich verweise auf die Tabelle auf Pag. 79 und 80.

Für die eben gemachten Angaben mögen hier einige Beispiele dienen. W
Blaugrün II auf Blaugrün II mit einem Winkel von 22½° gelegt wird, so er
man bei diagonaler Stellung ein reines Weiss, das von dem Weiss der er
Ordnung nicht zu unterscheiden ist; das letzere bringt aber in keiner Lage Schw
hervor. Ebenso wird das Weiss, welches man durch 2 Plättchen Weiss I
$\eta = 45°$ in der Diagonalstellung der Schwingungsmediane erhält (Pag. 79), d
Weiss I nicht aufgehoben, sondern in Chocoladebraun verwandelt. Das Blau,
ches 2 Plättchen Blau II bei $\eta = 45°$ in der Diagonalstellung geben, wird
Blau II, obgleich es von demselben nicht zu unterscheiden ist und ihm auch
complementären Bild durchaus gleicht, nicht in Schwarz, sondern in Schmutz
violett verändert. Das Gelborange, welches man erhält, wenn 2 Plättchen Gel
bei $\eta = 45°$ in der Orthogonalstellung sich befinden, wird durch das sehr ä
liche Gelborange II nicht vernichtet u. s. w.

VIII. Ein anisotroper crystallähnlicher Körper, auf einem bekannten Crystallplättchen liegend.

Das allgemeine Problem, welche Farbe zwei über einander liegende Körp
geben, gewährt noch eine andere wichtige spezielle Anwendung. Der eine
beiden Körper hat eine constante Lage; der andere kann um seine verticale A
gedreht werden. Jener ist in der Regel ein Plättchen von Gyps oder Glimm
welches so gestellt ist, dass seine Schwingungsebenen mit denen der beiden P
larisationsprismen einen Winkel von 45° bilden, und welches somit die lebhafte
Farbe gibt. Ueber dieses Plättchen bringt man den zu beobachtenden Körp
und beurtheilt aus der Farbenänderung seine doppelbrechenden Eigenschaft
Wenn der Körper einfach brechend ist, so wird, man mag ihn in jede belieb
Lage bringen, die Farbe des unterliegenden Crystallplättchens nicht geändert.
er dagegen doppelbrechend, so kommt er beim Drehen um eine verticale A
einmal in die Lage, wo seine Schwingungsebenen mit den homologen Ebenen
Crystallplättchens übereinstimmen; und die Farbe des letztern wird so verände
als ob es selber um eine entsprechende Grösse dicker geworden wäre. Se
Farbe wird in eine höhere Farbe der Newton'schen Reihe verwandelt; z. B. Rot
in Blau II oder Gelb II, Gelb I in Orange I oder Violett II. Wenn der Körp
aus dieser Lage um 90° gedreht wird, so fallen seine Schwingungsebenen
den heterologen des Crystallplättchens zusammen, und es geht die Farbe d
letztern in eine tiefere Nummer der Farbenreihe über, z. B. Roth I in Gelb
oder Hellbläulich I, Gelb I in Weiss I oder Grau I.

Wenn ein Körper sehr schwache doppelbrechende Eigenschaften besitzt, u
er sich allein im Polarisationsapparat befindet, so erscheint er bläulich-schwärzli

oder grau. Es ist manchmal schwer, diesen Ton von dem Schwarz der einfach brechenden Substanz zu unterscheiden. Legt man einen solchen Körper auf ein Gypsplättchen, und betrachtet man denselben abwechselnd in den beiden Lagen, in denen er die Farbe des Plättchens erhöht und vermindert, so wird die Differenz verdoppelt. Es gelingt daher oft, an einem Körper, welcher für sich kein sicheres Resultat gibt, durch Einschieben eines solchen Plättchens in den Polarisationsapparat die doppelbrechenden Eigenschaften nachzuweisen. Dasselbe muss eine der niedrigsten Farben der Reihe geben, weil hier die Töne auf eine gleiche Ab- oder Zunahme der Dicke am meisten ändern. Welche Farbe übrigens zu wählen sei, das hängt zum Theil von individuellen Rücksichten ab, indem das eine Auge leichter eine Veränderung am Roth, ein anderes an einer andern Farbe wahrnimmt. Bisher hat man gewöhnlich Roth der ersten Ordnung angewendet, und ich halte diess auch für das Zweckmässigste. Die geringen Veränderungen geben nicht nur in aufsteigender Folge dunklere (violette), in absteigender Reihe hellere (orangefarbene), sondern auch der Qualität nach verschiedene Farbentöne. Die zusammentreffenden Modificationen in der Helligkeit und in der Farbe sind für das Auge sehr empfindlich. Mohl empfiehlt dagegen statt des Roth I noch dünnere Plättchen (Eisengrau, Graublau etc. der ersten Ordnung, vid. Pag. 60) anzuwenden. Ein schwach doppelbrechender Körper macht diesen Ton in der einen Lage dunkler, in der andern heller, während derselbe der Qualität nach der nämliche bleibt. Die Augen mögen sich in dieser Beziehung verschieden verhalten. Ich selber konnte an schwach doppelbrechenden Körpern bei Anwendung von Roth I eine Wirkung noch wahrnehmen, welche bei Anwendung von Grau I sehr zweifelhaft blieb; und andere Personen stimmten hierin überein.

Eine sehr zweckmässige Vorrichtung besteht darin, dass zwei Gypsplättchen so mit den Rändern an einander gefügt werden, dass die homologen Schwingungsebenen in beiden rechtwinklig zu einander orientirt sind. Man hat somit eine Platte, auf deren einer Hälfte die Farbe des nämlichen doppelbrechenden Objectes erhöht, auf deren anderer Hälfte sie bei gleicher Lage erniedrigt wird. Bringt man das Object auf die Grenze der beiden Hälften, so sieht man die Additions- und Subtractionsfarben unmittelbar neben einander, und man kann des Contrastes wegen in zweifelhaften Fällen leichter ihre Verschiedenheit wahrnehmen, als wenn man jede allein beobachtet.

a. Bestimmung der Intensität des homogenen Lichtstrahls.

Die optischen Vorgänge, welche ein Crystallplättchen mit diagonaler Stellung der Schwingungsebenen und ein darüber liegender doppelbrechender Körper hervorbringen, werden durch die Construction in Fig. 19 deutlich. Hier ist r a die Vibrationsintensität des vom untern Prisma kommenden, sich senkrecht zur Papierfläche fortpflanzenden und in der Ebene A A, schwingenden Elementarstrahls. Derselbe wird beim Eintritt in das Crystallplättchen auf die beiden Schwingungsebenen desselben C C, und D D,, von denen C C, die der langsamern Fortpflanzung ist, übertragen; er hat in jeder derselben die Vibrationsintensität $rc = rd = ra . \mathrm{Cos}\, 45° = ra \sqrt{1/2}$ oder $= \sqrt{1/2}$, da ra als Einheit genommen wird. Die beiden in den Ebenen CC, und DD, schwingenden Strahlen haben beim Austritt aus dem Crystallplättchen einen Phasenunterschied von τ erlangt. Sie treffen nun auf das doppelbrechende Object mit den Schwingungsebenen FF, und GG,, welche um den Winkel ε von CC, und DD, abstehen, und von denen FF, der langsamern Fortpflanzung entspricht. Sie werden wieder je in zwei Componenten zerlegt. Der Strahl mit der Vibrationsintensität rc in re und rg, rd in rf und rh. In der Ebene FF, interferiren die Componenten mit der Vibrationsintensität re und rf und dem Gangunterschied τ; in der Ebene GG, interferiren rh und rg mit dem Phasenunterschied $\tau \pm 180°$. Die Vibrationsintensitäten der resultirenden Strahlen sind

$$J_{,} = \sqrt{(re)^2 + (rf)^2 + 2\, re . rf\, \mathrm{Cos}\, \tau} \quad \text{und} \quad J_{,,} = \sqrt{(rg)^2 + (rh)^2 - 2\, rg . rh\, \mathrm{Cos}\, \tau}$$

Der Phasenunterschied zwischen $J_{,}$ und dem ersten interferirenden Strahl re sei γ, derjenige zwischen $J_{,,}$ und rg ϑ; dann ist $\mathrm{Cos}\, \gamma = \frac{re + rf . \mathrm{Cos}\, \tau}{J_{,}}$ und $\mathrm{Sin}\, \gamma = \frac{rf . \mathrm{Sin}\, \tau}{J_{,}}$ ebenso $\mathrm{Cos}\, \vartheta = \frac{rg - rh . \mathrm{Cos}\, \tau}{J_{,,}}$ und $\mathrm{Sin}\, \vartheta = \frac{- rh . \mathrm{Sin}\, \tau}{J_{,,}}$.

Die Phasen von re und rg sind aber nicht verschieden und es beträgt demnach der Gangunterschied zwischen $J_{,}$ und $J_{,,}$ beim Eintritt in ihre Schwingungsebenen, wenn die Nullpunkte auf der Seite von F und G, sich befinden, $\vartheta - \gamma$. Nachdem sie durch das Object hindurchgegangen sind, hat die Differenz ihrer Phasen um δ zugenommen und beträgt nun $\vartheta - \gamma + \delta$. Sie werden dann auf die Schwingungsebene des obern Prisma BB, mit dem Nullpunkt B übertragen; $J_{,}$ wird dadurch zu $J_{,} \mathrm{Cos}\, (45° + \varepsilon)$ und $J_{,,}$ zu $J_{,,}\, \mathrm{Cos}\, (45° - \varepsilon)$. Der aus ihrer Interferenz resultirende Strahl hat die Lichtintensität

$$\begin{aligned} J^2 = {} & J_{,}^2\, \mathrm{Cos}^2\, (45° + \varepsilon) + J_{,,}^2\, \mathrm{Cos}^2\, (45° - \varepsilon) \\ & + 2 J_{,} J_{,,}\, \mathrm{Cos}\, (45° + \varepsilon)\, \mathrm{Cos}\, (45° - \varepsilon)\, \mathrm{Cos}\, (\vartheta - \gamma + \delta). \end{aligned}$$

Wird die Rechnung ausgeführt, so erhält man

$$J^2 = 1/2 - 1/2\, \mathrm{Sin}^2\, 2\varepsilon\, \mathrm{Cos}\, \tau - 1/2\, \mathrm{Cos}^2\, 2\varepsilon\, \mathrm{Cos}\, \tau\, \mathrm{Cos}\, \delta + 1/2\, \mathrm{Cos}\, 2\varepsilon\, \mathrm{Sin}\, \tau\, \mathrm{Sin}\, \delta.$$ [1]

---

(1) Man kann die Componenten, statt interferiren zu lassen, getrennt bis in das obere Prisma verfolgen und dort erst die Interferenz eintreten lassen. Die Rechnung wurde in dieser Art auch für ein früheres ganz analoges Problem ausgeführt (Pag. 40 Anmerk.). Es wird dann bei der Projektion auf die Ebene BB, die Vibrationsintensität re zu ri, rf zu rk, rg zu rl und rh zu rm. Der Phasenunterschied zwischen ri und rk (der nämliche wie zwischen re und rf) ist τ; denn diese beiden Componenten sind durch die beiden Schwingungsebenen des Crystallplättchens (CC, und DD,), dann durch die nämliche Schwingungsebene des Objectes (FF,) gegangen. Der Phasenunterschied zwischen rl und rm ist $180 \pm \delta$; denn diese beiden Componenten befinden sich in dem nämlichen Falle wie ri und rk, nur sind sie durch die Projektion um 180° entfernt worden. Die Phasen der 4 Strahlen sind, wenn der Ausgangspunkt der Schwingungen sich auf der Seite von B befindet, folgende: $\varphi(ri) = \tau + \delta$; $\varphi(rl) = \tau$; $\varphi(rk) = \delta$; $\varphi(rm) = + 180°$. Lässt man nun zunächst die erwähnten beiden Paare interferiren, so hat man als Vibrationsintensitäten der resultirenden Strahlen

Dieser Werth von J^2 gilt für jede Construction, d. h. für jede Stellung der Schwingungsebenen $FF_,$ und $GG_,$, wenn ε der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen (d. h. zwischen $CC_,$ und $FF_,$ oder zwischen $DD_,$ und $GG_,$) immer in positiver Richtung genommen wird. Er stellt die Lichtmenge des Elementarstrahls dar, welche durch ein Crystallplättchen und ein doppelbrechendes Object in das Auge des Beobachters gelangt. Dieselbe hängt von 3 variabeln Grössen ab, von dem Winkel ε, von der Dicke des Crystallplättchens, welche den Phasenunterschied τ, und von der Dicke des Objects, welche den Phasenunterschied δ bedingt. Die Untersuchung, wie sich J^2 verhält, wenn eine dieser drei veränderlichen Grössen wechselt, hat nur für einige wenige Fälle praktischen Werth.

Wenn $\tau = 0$ ist, so wird

$$J^2 = {}^1/_2\ (1 - \mathrm{Sin}^2 2\varepsilon - \mathrm{Cos}^2 2\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\delta) = {}^1/_2\ \mathrm{Cos}^2 2\varepsilon\ (1 - \mathrm{Cos}\,\delta).$$

Das Crystallplättchen wird in diesem Falle unendlich dünn oder einfachbrechend gedacht; das Object hat allein auf die Intensität des Elementarstrahls Einfluss. J^2 hat jetzt den Werth des für einen doppelbrechenden Körper gefundenen Ausdrucks (Pag. 32) angenommen, und nimmt auch dessen Form an, wenn

---

$$J_, = \sqrt{(ri)^2 + (rk)^2 + 2\,ri\,.\,rk\,.\,\mathrm{Cos}\,\tau} \text{ und } J_{,,} = \sqrt{(rl)^2 + (rm)^2 - 2\,rl\,.\,rm\,.\,\mathrm{Cos}\,\tau}.$$

Wenn der Phasenunterschied zwischen dem resultirenden Strahl $J_,$ und dem ersten interferirenden ri oder $\varphi(rl) - \varphi(J_,) = \gamma$, ferner $\varphi(rl) - \varphi(J_{,,}) = \vartheta$ gesetzt wird, so hat man

$$\mathrm{Cos}\,\gamma = \frac{ri + rk\,.\,\mathrm{Cos}\,\tau}{J_,} \text{ und } \mathrm{Sin}\,\gamma = \frac{rk\,.\,\mathrm{Sin}\,\tau}{J_,}, \text{ ferner}$$

$$\mathrm{Cos}\,\vartheta = \frac{rl - rm\,.\,\mathrm{Cos}\,\tau}{J_{,,}} \text{ und } \mathrm{Sin}\,\vartheta = \frac{-\,rm\,.\,\mathrm{Sin}\,\tau}{J_{,,}}$$

Es ist aber $\varphi(ri) - \varphi(rl) = \delta$. Daraus folgt $\varphi(J_,) - \varphi(J_{,,}) = \vartheta - \gamma + \delta =$ Phasenunterschied zwischen den beiden Resultanten $J_,$ und $J_{,,}$. Lässt man diese beiden Strahlen schliesslich noch interferiren, so hat man

$$J^2 = J_,^2 + J_{,,}^2 + 2\,J_,\,J_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \gamma + \delta).$$

Die Rechnung gibt

$$ri = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(45^\circ + \varepsilon) = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}\,(45^\circ - \varepsilon);\ rl = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(45^\circ - \varepsilon);$$

$$rk = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(45^\circ + \varepsilon) = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}\,(45 - \varepsilon);\ rm = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(45^\circ - \varepsilon). \quad \text{Ferner}$$

$$J_,^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2(45^\circ - \varepsilon) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2(45^\circ - \varepsilon) + \mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Sin}^2(45 - \varepsilon)\,\mathrm{Cos}\,\tau$$
$$= \tfrac{1}{4}(1 - \mathrm{Sin}\,2\varepsilon)\,(1 + \mathrm{Sin}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau). \quad \text{Ebenso}$$

$$J_{,,}^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2(45^\circ - \varepsilon) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2(45^\circ - \varepsilon) - \mathrm{Sin}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}^2(45^\circ - \varepsilon)\,\mathrm{Cos}\,\tau$$
$$= \tfrac{1}{4}(1 + \mathrm{Sin}\,2\varepsilon)\,(1 - \mathrm{Sin}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau). \quad \text{Ferner}$$

$$\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \gamma + \delta) = (\mathrm{Cos}\,\vartheta\,\mathrm{Cos}\,\gamma + \mathrm{Sin}\,\vartheta\,\mathrm{Sin}\,\gamma)\,\mathrm{Cos}\,\delta - (\mathrm{Sin}\,\vartheta\,\mathrm{Cos}\,\gamma - \mathrm{Cos}\,\vartheta\,\mathrm{Sin}\,\gamma)\,\mathrm{Sin}\,\delta$$
$$= \frac{(ri\,.\,rl - rk\,.\,rm)\,\mathrm{Cos}\,\delta + (rk\,.\,rl - ri\,.\,rm)\,\mathrm{Cos}\,\tau\,\mathrm{Cos}\,\delta + (rk\,.\,rl + ri\,.\,rm)\,\mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta}{J_,\,J_{,,}}$$
$$= \frac{rk\,.\,rl\,\mathrm{Cos}\,(\tau - \delta) - ri\,.\,rm\,\mathrm{Cos}\,(\tau + \delta)}{J_,\,J_{,,}} = \frac{\tfrac{1}{4}\,\mathrm{Sin}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(\tau - \delta) - \tfrac{1}{4}\,\mathrm{Cos}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(\tau + \delta).}{J_,\,J_{,,}}$$

Es ist also

$$2\,J_,\,J_{,,}\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \gamma + \delta) = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,2\varepsilon\,[\mathrm{Sin}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(\tau - \delta) - \mathrm{Cos}^2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,(\tau + \delta)]$$
$$= -\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2 2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau\,\mathrm{Cos}\,\delta + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,2\varepsilon\,\mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta; \text{ ferner}$$

$$J_,^2 + J_{,,}^2 = \tfrac{1}{4}(1 - \mathrm{Sin}\,2\varepsilon)(1 + \mathrm{Sin}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau) + \tfrac{1}{4}(1 + \mathrm{Sin}\,2\varepsilon)(1 - \mathrm{Sin}\,2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau) = \tfrac{1}{2}(1 - \mathrm{Sin}^2 2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau);$$

endlich $J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2 2\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau\,\mathrm{Cos}\,\delta + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,2\varepsilon\,\mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta$.

statt ε, $\varepsilon + 45°$ gesetzt und damit der Abstand der einen Schwingungsebene Objects von der Abszisse ausgedrückt wird. Man hat dann

$$J^2 = {}^1/_2 \ \mathrm{Cos}^2\ (2\,\varepsilon + 90°)\ (1 - \mathrm{Cos}\,\delta) = 2\ \mathrm{Sin}^2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}^2\,\varepsilon\ (1 - \mathrm{Cos}\,\delta).$$

Ist $\delta = 0$, so wird

$$J^2 = {}^1/_2\ (1 - \mathrm{Sin}^2\,2\,\varepsilon\,\mathrm{Cos}\,\tau - \mathrm{Cos}^2\,2\,\varepsilon\ \mathrm{Cos}\,\tau = {}^1/_2 - {}^1/_2\,\mathrm{Cos}\,\tau.$$

Diess ist die Formel für einen doppelbrechenden Körper in diagonaler St lung (Pag. 35). Das Crystallplättchen ist allein maassgebend für die Intens des Elementarstrahls. Der darüber befindliche Körper ist unendlich dünn o isotrop.

Dreht man das Object um seine verticale Axe, verändert man also ε, nimmt J^2 zu oder ab. Ist $\varepsilon = \pm 45°$, so wird $J^2 = {}^1/_2\ (1 - \mathrm{Cos}\,\tau)$; die Schwi gungsebenen des doppelbrechenden Objects fallen mit denen der beiden Pola sationsprismen zusammen, und die Wirkung ist die nämliche, als ob das Crysta plättchen allein vorhanden wäre. — Wenn $\varepsilon = 0$ oder 180°, so ist

$$J^2 = {}^1/_2\,((1 - \mathrm{Cos}\,\tau\ \mathrm{Cos}\,\delta + \mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta) = {}^1/_2 - {}^1/_2\ \mathrm{Cos}\,(\tau + \delta).$$

Wenn $\varepsilon = 90°$ oder 270°, so ist

$$J^2 = {}^1/_2\,(1 - \mathrm{Cos}\,\tau\ \mathrm{Cos}\,\delta - \mathrm{Sin}\,\tau\ \mathrm{Sin}\,\delta) = {}^1/_2 - {}^1/_2\ \mathrm{Cos}\,(\tau - \delta);$$

d. h. das doppelbrechende Object hat zwei verschiedene diagonale Stellung In der einen ($\varepsilon = 0$ oder 180°) fallen die homologen Schwingungsebenen d Objects und des Crystallplättchens zusammen; in der andern ($\varepsilon = 90°$ oder 270 liegen die heterologen Ebenen, die beschleunigende und die verzögernde, üb einander. Die erstere Lage hat daher die gleiche Wirkung, als ob das Crysta plättchen selbst dicker und als ob dadurch der Phasenunterschied von τ auf $+ \delta$ gesteigert worden sei. Die zweite Lage dagegen wirkt so, als ob das Cr stallplättchen um eine entsprechende Grösse dünner und als ob dadurch die Ph sendifferenz von τ auf $\tau - \delta$ vermindert worden sei. Ienes können wir die A ditions-, dieses die Subtractionslage nennen.

Die Gangunterschiede der Additions-, der orthogonalen und der Subtraction lage sind also $\tau + \delta$, τ und $\tau - \delta$. Wenn das Object um seine verticale A gedreht und somit aus einer dieser 3 Stellungen in eine andere gebracht wir so kann die Lichtintensität, welche der Elementarstrahl liefert, entweder zu- od abnehmen, je nach der Grösse der Werthe von $\tau + \delta$, von τ und von $\tau -$ Sie erreicht das Maximum (= 1), wenn der Phasenunterschied 180°, das Min mum (= 0), wenn derselbe 0 beträgt. Die Helligkeit nimmt ab, wenn bei Drehen des Objectes aus einer Stellung in die andere der Phasenunterschied si in der Richtung von 180° gegen 0 oder 360° hin verändert; sie vermehrt sic wenn die Veränderung in entgegengesetzer Richtung sich bewegt.

b. Veränderung der Interferenzfarbe (bei Anwendung von weissem Lichte

Wendet man nicht homogenes, sondern weisses Licht an, so gibt die orth gonale Stellung des Objectes die unveränderte Farbe des Crystallplättchens. Den jeder Elementarstrahl tritt mit der Intensität $J^2 = {}^1/_2 - {}^1/_2\ \mathrm{Cos}\,\tau$ auf. — Von d diagonalen Stellungen zeigt die Additionslage die nämliche Farbe, wie ein in dem Maasse verdicktes Crystallplättchen, dass der Phasenunterschied des Elementarstrahls aus ε zu $\varepsilon + \delta$ geworden ist. Denn die Intensität jedes einzelnen Elementarstrahls ist $J^2 = {}^1/_2 - {}^1/_2 \,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon + \delta)$. Statt der Farbe des angewendeten Crystallplättchens wird also durch das Object eine höhere Farbe in der Newton'schen Skale hervorgebracht. — Die Subtractionslage stimmt mit dem Effect eines dünnern Crystallplättchen überein, dessen Gangunterschied für den Elementarstrahl $\varepsilon - \delta$ beträgt; die Intensität ist $J^2 = {}^1/_2 - {}^1/_2 \,\mathrm{Cos}\,(\varepsilon - \delta)$. Statt der Farbe des angewendeten Crystallplättchens hat man eine tiefere Farbe der gewöhnlichen Skale. Beispiele hiefür habe ich bereits oben (Pag. 82) angeführt.

Wenn das Object den nämlichen doppelbrechenden Effect hervorbringt, wie das Crystallplättchen, so ist $\delta = \varepsilon$. Man hat dann für den Elementarstrahl in der Additionslage die Intensität $J^2 = {}^1/_2 - {}^1/_2 \,\mathrm{Cos}\, 2\varepsilon$, in der Subtractionslage $J^2 = 0$. In der Additionslage ist der Phasenunterschied des Crystallplättchens verdoppelt, und es wird die Farbe in entsprechendem Maasse in der Skale erhöht. In der Subtractionslage ist der Gangunterschied Null, und das Gesichtsfeld erscheint schwarz. Ein Gypsplättchen, welches Roth I gibt, und ein Object, das ebenfalls Roth I gibt, geben in der Additionslage zusammen Roth II; Weiss I und Weiss I liefern Roth I; Orange I und Orange I liefern Gelb II; Blau II und Blau II geben Gelb III, während die Subtractionslage immer schwarz zeigt.

Ist der Phasenunterschied im Crystallplättchen geringer als in dem darüber liegenden Körper (also $\varepsilon < \delta$), so hat man in der Subtractionslage für die Helligkeit des Elementarstrahls $J^2 = {}^1/_2 \,[1 - \mathrm{Cos}\,(\varepsilon - \delta)] = {}^1/_2 - {}^1/_2 \,\mathrm{Cos}\,(\delta - \varepsilon)$ d. h. seine Intensität ist die nämliche, als ob der Phasenunterschied des Objectes um den nämlichen Betrag, den er jetzt vor dem Phasenunterschied des Crystallplättchens voraus hat, hinter demselben zurückbliebe. Wie die Intensität des Elementarstrahls verhält sich auch die Farbe. Mit andern Worten: wenn auf einem Crystallplättchen ein anderes liegt, so hat man in der Subtractionslage die gleiche Farbe, ob das zweite um eine gewisse Grösse dicker oder um ebenso viel dünner sei als das erste. Roth I über Gelb I gibt in der Subtractionslage Hellbläulich I, wie Gelb I über Roth I; Gelb I über Blau II, und Blau II über Gelb I geben beide Gelb I.

Da jedes Polarisationsmicroscop wenigstens mit einem Gypsplättchen ausgestattet sein muss und aus den angeführten Gründen am zweckmässigsten ein solches gewählt wird, das Roth der ersten Ordnung gibt, so stelle ich in eine Tabelle alle Farbenveränderungen zusammen, welche dasselbe bei microscopischen Untersuchungen erfahren kann. In der ersten Columne ist die Interferenzfarbe des Objectes angegeben, welche ohne Crystallplättchen erscheint, in der zweiten und dritten sind die Farben verzeichnet, welche man durch Einschieben eines Gypsplättchens Roth I in der Subtractions- und Additionslage erhält. Die in ( ) eingeschlossenen Farben sind die des complementären Bildes.

Ohne Gypsplättchen	Mit Gypsplättchen Roth I	
	Subtractionsfarbe	Additionsfarbe
Grau I	Orange I (Blau)	Indigo II (Gelb)
Hellbläulich I	Gelb I (Hellindigo)	Blau II (Orange)
Weiss I	Weiss I (Rothviolett)	Grün II (Roth)
Gelb I	Hellbläulich I (Orange)	Gelb II (Hellindigo)
Orange I	Grau I (Gelblichweiss)	Orange II (Grünlichblau)
Roth I	Schwarz (Weiss)	Roth II (Grün)
Indigo II	Grau I (Gelblichweiss)	Violett III (Gelb)
Blau II	Hellbläulich I (Orange)	Blau III (Orange)
Grün II	Weiss I (Rothviolett)	Grün III (Roth)
Gelb II	Gelb I (Hellindigo)	Gelb III (Violett)
Orange II	Orange I (Blau)	Rosa III (Blau)
Roth II	Roth I (Hellgrün)	Roth III (Grün)
Violett III	Indigo II (Gelbgrün)	Hellrothviolett IV (Grünlichblau)
Blau III	Blau II (Orange)	Bläulichgrün IV (Hellrosa)
Grün III	Grün II (Roth)	Grün IV (Hellroth)
Gelb III	Gelb II (Hellindigo)	Hellgrünlich IV (Hellrothlila)
Rosa III	Orange II (Grünlichblau)	Hellrosa (Hellbläulichgrünlich)
Roth III	Roth II (Grün)	Hellroth IV (Hellgrün)
Hellviolett IV	Violett III (Gelb)	Hellroth IV (Hellgrün)
Bläulichgrün IV	Blau III (Orange)	Hellviolettroth V (Hellgrünlich)
Grün IV	Grün III (Roth)	Hellblau V (Hellrosa)

Für manche Fälle reicht man mit einem einzigen Gypsplättchen nicht aus, und es ist wünschbar, dass noch einige zur Vergleichung benützt werden können. Für microscopische Zwecke möchten am besten solche, welche Gelb I und Blau II geben, sich eignen. Ich füge desshalb noch zwei Tabellen bei, in denen die Additions- und Subtractionsfarben der beiden genannten Plättchen enthalten sind.

Ohne Gypsplättchen	Mit Gypsplättchen Gelb I	
	Subtractionsfarbe	Additionsfarbe
Grau I	Weiss I (Rothviolett)	Orange I (Blau)
Hellbläulich I	Hellbläulich I (Orange)	Roth I (Hellgrün)
Weiss I	Grau I (Gelblichweiss)	Indigo II (Gelb)
Gelb I	Schwarz (Weiss)	Blau II (Orange)
Orange I	Grau I (Gelblichweiss)	Grün II (Roth)
Roth I	Hellbläulich I (Orange)	Gelb II (Hellindigo)
Indigo II	Weiss I (Rothviolett)	Orange II (Grünlichblau)
Blau II	Gelb I (Hellindigo)	Roth II (Grün)
Grün II	Orange I (Blau)	Violett III (Gelb)
Gelb II	Roth I (Hellgrün)	Blau III (Orange)

Ohne Gypsplättchen	Mit Gypsplättchen Gelb I	
	Subtractionsfarbe	Additionsfarbe
Orange II	Indigo II (Gelb)	Grün III (Roth)
Roth II	Blau II (Orange)	Gelb III (Violett)
Violett III	Grün II (Roth)	Rosa III (Blau)
Blau III	Gelb III (Hellindigo)	Roth III (Grün)
Grün III	Orange II (Grünlichblau)	Hellrothviolett IV (Grünlichblau)
Gelb III	Roth II (Grün)	Bläulichgrün IV (Hellrosa)
Rosa III	Violett III (Gelb)	Grün IV (Hellroth)
Roth III	Blau III (Orange)	Hellgrünlich IV (Hellrothlila)
Hellviolett IV	Grün III (Roth)	Hellrosa IV (Hellbläulichgrünlich)
Bläulichgrün IV	Gelb III (Hellindigo)	Hellroth IV (Hellgrün)
Grün IV	Orange III (Grünlichblau)	Hellroth IV (Hellgrün)

Ohne Gypsplättchen	Mit Gypsplättchen Blau II	
	Subtractionsfarbe	Additionsfarbe
Grau I	Indigo II (Gelb)	Grün II (Roth)
Hellbläulich I	Roth I (Hellgrün)	Gelb II (Hellindigo)
Weiss I	Orange I (Blau)	Orange II (Grünlichblau)
Gelb I	Gelb I (Hellindigo)	Roth II (Grün)
Orange I	Weiss I (Rothviolett)	Violett III (Gelb)
Roth I	Hellbläulich I (Orange)	Blau III (Orange)
Indigo II	Grau I (Gelblichweiss)	Grün III (Roth)
Blau II	Schwarz (Weiss)	Gelb III (Violett)
Grün II	Grau I (Gelblichweiss)	Rosa III (Blau)
Gelb II	Hellbläulich I (Orange)	Roth III (Grün)
Orange II	Weiss I (Rothviolett)	Hellrothviolett IV (Grünlichblau)
Roth II	Gelb I (Hellindigo)	Bläulichgrün IV (Hellrosa)
Violett III	Orange I (Blau)	Grün IV (Hellroth)
Blau III	Roth I (Hellgrün)	Hellgrünlich IV (Hellrothlila)
Grün III	Indigo II (Gelb)	Hellrosa IV (Hellbläulichgrünlich)
Gelb III	Blau II (Orange)	Hellroth IV (Hellgrün)
Rosa III	Grün II (Roth)	Hellroth IV (Hellgrün)
Roth III	Gelb II (Hellindigo)	Hellviolettroth V (Hellgrünlich).
Hellviolett IV	Orange II (Grünlichblau)	Hellblau V (Hellrosa)
Bläulichgrün IV	Roth II (Grün)	Hellblau V (Hellrosa)
Grün IV	Violett III (Gelb)	Hellblaugrün V (Hellroth)

Wenn man ein Object auf dem feststehenden Gypsplättchen um eine verticale Axe dreht, so gehen die besprochenen 3 Hauptfarben, die man dabei erhält, die der diagonalen Additionslage, der orthogonalen Stellung und der diagonalen

Subtractionslage allmälig in einander über. Die Vergleichung der allgemeinen Intensitätsformel (Pag. 84) mit der Intensitätsformel für einen Keil oder ein einfaches Plättchen (Pag. 32) zeigt uns, dass in beiden die Lichtmengen der einzelnen Elementarstrahlen nicht in gleichen Verhältnissen wechseln. Die Uebergänge zwischen jenen 3 Hauptfarben, die der Newton'schen Skale angehören, finden daher nicht wie in dieser statt; sie durchlaufen nicht die zwischenliegenden Nummern der Skale, sondern zeigen Mischfarben, fast als ob man die beiden Hauptfarben in wechselndem Verhältniss über einander legte. Beim Versuch wird diess um so deutlicher, je weiter die Hauptfarben in der gewöhnlichen Skale aus einander liegen. Wenn man auf ein Gypsplättchen Roth I ein anderes legt, welches für sich Hellblau I gibt, so hat man beim Drehen Gelb I (diagonale Subtractionslage), Roth I (orthogonale Stellung) und Blau II (diagonale Additionslage); die Uebergänge beim Drehen geschehen durch Orange und Violett. Hier kann also durch den Versuch noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, dass diese beiden Töne nicht die der Newton'schen Skale sind, obgleich sie ziemlich deutlich einen andern Charakter zeigen. Ein Gypsplättchen Gelb I gibt, auf Roth I gedreht, die 3 Hauptfarben Hellblau I, Roth I und Gelb II; der Uebergang findet statt durch Violett und Orange, also nicht durch die Nummern der Farbenskale. Roth I, auf Roth I gedreht, gibt die 3 Hauptfarben Schwarz, Roth I und Roth II, von denen die ersten beiden durch ein dunkles Roth, die letzten beiden durch Roth in einander übergehen. Roth II oder Roth III, auf Roth I gedreht, zeigt immer Roth, mit mehr oder weniger Helligkeit und mit Abweichung bald nach Rothviolett, bald nach Rothorange; wenn die Uebergänge durch die gewöhnliche Reihe statt fänden, so müssten in diesem Falle alle Regenbogenfarben durchlaufen werden.

IX. Zwei anisotrope crystallähnliche Körper, die übereinander auf einem bekannten Crystallplättchen liegen.

a. Bestimmung der Intensität des homogenen Lichtstrahls; Charakter der Interferenzfarben.

Ein noch complicirteres Problem, das aber bei der Untersuchung organisirter Körper eine sehr häufige Anwendung findet, besteht darin, dass ein Crystallplättchen und 2 doppelbrechende Objecte im Polarisationsapparat über einander liegen. Der Lichtstrahl hat also, ehe er in das Auge des Beobachters gelangt, die beiden Prismen eingerechnet, 5 Körper mit doppelter Brechung zu durchlaufen. Dieses Problem ist aber nicht in seiner Allgemeinheit, sondern nur in bestimmten Beschränkungen von Wichtigkeit. Dazu gehören, 1) dass die Schwingungsebenen des Crystallplättchens eine diagonale Stellung haben, d. h. mit denen der beiden Prismen Winkel von 45° bilden, und 2) dass die beiden Objecte von gleicher Dicke und überhaupt von gleicher brechender Beschaffenheit seien. Wird die In-

tensitätsformel für den Elementarstrahl entwickelt (für die Rechnung verweise ich auf die Anmerkung [1], so erhält man

$$J^2 = {}^1/_2 - {}^1/_2 \,\mathrm{Cos}\,\tau\Big(1 - \mathrm{Sin}^2 2\,\eta\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta) - \mathrm{Cos}^2\eta\,\mathrm{Sin}^2\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta + \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\eta)]\Big)$$
$$- \,\mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + \eta) - \mathrm{Cos}\,\eta\,\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + 2\,\eta)\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta)]$$

---

(1) In Fig. 38 pflanzt sich der Lichtstrahl senkrecht zur Papierebene durch den Punkt r fort. AA_1 ist die Schwingungsebene des polarisirenden Prismas. CC_1 und DD_1 sind die Schwingungsebenen des Crystallplättchens, in welches zunächst ein Strahl aus jenem Prisma eintritt, und sich dabei in 2 Strahlen mit den Vibrationsintensitäten rc und rd theilt. FF_1 und GG_1 sind die Schwingungsebenen des ersten (untern) doppelbrechenden Objects. Der Strahl rc tritt in dieselben mit 2 Componenten ein, deren Vibrationsintensitäten re und rg sind; der Strahl rd theilt sich in rf und rh. In der Ebene FF_1 schwingen und interferiren die beiden Componenten re und rf, in der Ebene GG_1 die Componenten rg und rh. Wir wollen jedoch, um den Vorgang einfacher und anschaulicher zu machen, von der Interferenz absehen und die Componenten getrennt bis in das obere Prisma verfolgen. KK_1 und LL_1 sind die Schwingungsebenen des zweiten (obern) doppelbrechenden Objectes. Die 4 Strahlen, die aus dem ersten kommen, theilen sich wieder je in 2, nämlich re in zwei Componenten mit den Vibrationsintensitäten ri und rl, rf in rn und ro, rg in rk und rm, rh in rp und rq; so dass in der Ebene KK_1 4 Componenten (ri, rp, rn, rk) und in der Ebene LL_1 ebenfalls 4 (rl, rm, ro, rq) schwingen. Diese 8 Strahlen werden schliesslich auf die Ebene des analysirenden Prisma's BB_1 übertragen: ri mit der Vibrationsintensität ry, rp als rx, rn als rw, rk als rv, rl als rs, rm als rt, ro als ru, rq als rz.

Die ebengenannten Componenten kann man nun in beliebiger Combination paarweise interferiren lassen. Zu diesem Ende müssen ihre Phasen und Phasenunterschiede ermittelt werden.

Die beiden Strahlen rc und rd sind beim Eintritte in das Crystallplättchen in der nämlichen Phase; beim Austritt aus demselben ist rc um den Bogen τ voraus; denn CC_1 ist die Ebene der langsameren Fortpflanzung und somit der kürzern Wellen. Wenn daher in diesem Augenblicke rd sich in der Phase χ befindet, also $\varphi\,(\mathrm{rd}) = \chi$, so ist die Phase von rc oder $\varphi\,(\mathrm{rc}) = \chi + \tau$. Der Schwingungsnullpunkt der Ebene AA_1 befinde sich auf der Seite von A, so sind die Nullpunkte der Ebenen CC_1 und DD_1 auf der Seite von C und von D. Bei der Uebertragung auf die Ebenen FF_1 und GG_1 befinden sich die beiden Componenten re und rg im Moment des Eintrittes in der nämlichen Phase wie rc beim Austritt ($= \chi + \tau$). FF_1 ist die Ebene der langsamern Fortpflanzung; der Strahl re macht in ihr δ Wellenlängen mehr als der Strahl rg in GG_1. Wenn daher beim Durchgang durch das erste Object die Phase von rg sich um ψ vermehrt, so wächst diejenige von re um $\psi + \delta$. Beim Austritt ist $\varphi\,(\mathrm{rg}) = \chi + \tau + \psi$ und $\varphi\,(\mathrm{re}) = \chi + \tau + \psi + \delta$, wenn der Schwingungsnullpunkt der Ebenen FF_1 und GG_1 (analog mit CC_1) auf der Seite von F und G, angenommen wird. Ebenso ist beim Austritt die Componente rf der Componente rh um δ Wellenlängen voraus; die Phase von rh vermehrt sich um die Grösse ψ, diejenige von rf um $\psi + \delta$. Der Nullpunkt der Schwingungen in DD_1 liegt auf der Seite D; somit derjenige von FF_1 und GG_1 auf der Seite von F und G. Da aber für die Componente rg der Ausgangspunkt auf der Seite von G, sich befindet, so muss, um rg und rh in Uebereinstimmung zu bringen, der Schwingungsnullpunkt der einen Componente auf die entgegen gesetzte Seite verlegt und daher ihre Phase um + 180° vergrössert werden. Der gemeinsame Ausgangspunkt sei bei G_1, so ist beim Austritt aus dem ersten Object $\varphi\,(\mathrm{rh}) = \chi + \psi \pm 180^\circ$ und $\varphi\,(\mathrm{rf}) = \chi + \psi + \delta$. — Der Strahl re tritt aus dem ersten Object in das zweite mit den beiden Componenten ri und rl ein, welche beide die Phase $\chi + \tau + \psi + \delta$ haben. KK_1 ist die Ebene der langsamern Fortpflanzung, in welcher während des Durchgangs durch das zweite Objekt δ Wellenlängen mehr zurückgelegt werden als in LL_1. Da der Nullpunkt sich auf der

In dieser Formel bezeichnet ε den Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen des Gypsplättchens und des ersten Objects, η denjenigen zwischen

---

Seite von F befindet, so liegt er für die beiden neuen Ebenen auf der Seite von K und L. Beim Austritt aus dem zweiten Object ist $\varphi(rl) = \chi + \tau + \psi + \delta + \psi = \chi + 2\psi + \tau + \delta$ und $\varphi(ri) = \chi + \tau + \psi + \delta + \psi + \delta = \chi + 2\psi + \tau + 2\delta$. Die beiden Componenten rk und rm befinden sich beim Eintritt in das zweite Object (wie der sie erzeugende Strahl rg) in der Phase $\chi + \tau + \psi$. Beim Austritt aus demselben ist die Phase von rm um ψ, diejenige von rk um $\psi + \delta$ gewachsen, insofern der Ausgangspunkt der Schwingungen auf der Seite von L und von K, genommen wird. Da aber für die Ebene KK, bereits K als Nullpunkt festgesetzt wurde, so ist $\varphi(rm) = \chi + 2\psi + \tau$ und $\varphi(rk) = \chi + 2\psi + \tau + \delta + 180^\circ$. Die beiden Componenten rn und ro haben anfänglich die Phase (wie rf) $\chi + \psi + \delta$; nach ihrem Durchgang durch das zweite Object ist $\varphi(rn) = \chi + 2\psi + 2\delta$ und $\varphi(ro) = \chi + 2\psi + \delta$. Die Strahlen rp und rq befinden sich beim Eintritt in der Phase $\chi + \psi + 180^\circ$ (wie rh), beim Austritt ist $\varphi(rp) = \chi + 2\psi + \delta + 180^\circ$ und $\varphi(rq) = \chi + \psi \pm 180^\circ + \psi$ wenn auf die Ausgangspunkte K, und L bezogen, weil für rh der Nullpunkt auf der Seite von G, angenommen wurde. Für den Ausgangspunkt K ist $\varphi(rp) = \chi + 2\psi + \delta$.

Bei der Uebertragung auf die Ebene BB, des obern Prismas bleiben die 4 Componenten, welche von der Schwingungsebene LL, kommen, in der nämlichen Phase, wenn der Ausgangspunkt der Schwingungen von L auf B übertragen wird. Die 4 Componenten von KK, würden ebenfalls ihre Phasen behalten, wenn der Schwingungsnullpunkt sich in B. befände. Da er aber bereits auf der Seite von B angenommen wurde, so ändern sich die Phasen um 180°. Man hat demnach für die 8 auf BB, übertragenen Componenten folgende Phasen. $\varphi(rs) = \chi + 2\psi + \tau + \delta$; $\varphi(rt) = \chi + 2\psi + \tau$; $\varphi(ru) = \chi + 2\psi + \delta$; $\varphi(rz) = \chi + 2\psi \pm 180^\circ$; $\varphi(rv) = \chi + 2\psi + \tau + \delta$; $\varphi(rw) = \chi + 2\psi + 2\delta \pm 180^\circ$; $\varphi(rx) = \chi + 2\psi + \delta \pm 180^\circ$; $\varphi(ry) = \chi + 2\psi + \tau + 2\delta \pm 180^\circ$. Wenn überall $\chi + 2\psi$ weggelassen wird, so hat man: $\varphi(rs) = \tau + \delta$; $\varphi(rt) = \tau$; $\varphi(ru) = \delta$; $\varphi(rz) = \pm 180^\circ$; $\varphi(rv) = \tau + \delta$; $\varphi(rw) = 2\delta \pm 180^\circ$; $\varphi(rx) = \delta \pm 180^\circ$; $\varphi(ry) = \tau + 2\delta \pm 180^\circ$.

Von den 8 auf BB, übertragenen Componenten kann man je 2 beliebige interferiren lassen; z. B. rs und rv, rt und ry, ru und rx, rz und rw. Man hat dann

$$J_1^2 = (rs)^2 + (rv)^2 + 2\, rs \,.\, rv; \qquad J_2^2 = (ry)^2 + (rt)^2 - 2\, ry \,.\, rt \,.\, \mathrm{Cos}\, 2\delta;$$
$$J_3^2 = (rx)^2 + (ru)^2 - 2\, rx \,.\, ru; \qquad J_4^2 = (rw)^2 + (rz)^2 + 2\, rw \,.\, rz \,.\, \mathrm{Cos}\, 2\delta$$

Für die 8 Componenten sind folgende Werthe einzuführen, wobei ich behufs grösserer Einfachheit vorläufig rc und $rd = 1$ setzen will (ist dagegen $ra = 1$, so wird rc und $rd = \sqrt{\tfrac{1}{2}}$).

$$rs = \mathrm{Cos}\,\varepsilon\, \mathrm{Sin}\,\eta\, \mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta - 45^\circ); \qquad rv = \mathrm{Sin}\,\varepsilon\, \mathrm{Sin}\,\eta\, \mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta - 45^\circ);$$
$$ry = \mathrm{Cos}\,\varepsilon\, \mathrm{Cos}\,\eta\, \mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta - 45^\circ); \qquad rt = \mathrm{Sin}\,\varepsilon\, \mathrm{Cos}\,\eta\, \mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta - 45^\circ);$$
$$rx = \mathrm{Cos}\,\varepsilon\, \mathrm{Sin}\,\eta\, \mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta - 45^\circ); \qquad ru = \mathrm{Sin}\,\varepsilon\, \mathrm{Sin}\,\eta\, \mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta - 45^\circ);$$
$$rz = \mathrm{Cos}\,\varepsilon\, \mathrm{Cos}\,\eta\, \mathrm{Cos}(\varepsilon + \eta - 45^\circ); \qquad rw = \mathrm{Sin}\,\varepsilon\, \mathrm{Cos}\,\eta\, \mathrm{Sin}(\varepsilon + \eta - 45^\circ);$$

Also ist $J_1^2 = \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Sin}^2\eta\, (1 + \mathrm{Sin}\, 2\eta)$.

$$J_2^2 = \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Cos}^2\eta\, (1 - \mathrm{Sin}\, 2\eta) + \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Cos}^2\eta\, \mathrm{Sin}^2\delta\, [\mathrm{Sin}\, 2\eta - \mathrm{Sin}(4\varepsilon + 2\eta)].$$
$$J_3^2 = \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Sin}^2\eta\, (1 - \mathrm{Sin}\, 2\eta).$$
$$J_4^2 = \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Cos}^2\eta\, (1 + \mathrm{Sin}\, 2\eta) - \tfrac{1}{2}\, \mathrm{Cos}^2\eta\, \mathrm{Sin}^2\delta\, [\mathrm{Sin}\, 2\eta - \mathrm{Sin}(4\varepsilon + 2\eta)].$$

Um die 4 Strahlen, denen die Lichtintensitäten J_1^2, J_2^2, J_3^2 und J_4^2 entsprechen, interferiren zu lassen, müssen die Differenzen ihrer Phasen bestimmt werden. Der Gangunterschied zwischen rs und J_1 ist 0 (da rs und rv in der nämlichen Phase sich befinden). Es sei $\varphi(ry) - \varphi(J_2) = \vartheta,$; es ist aber $\varphi(ry) - \varphi(rs) = \delta \pm 180^\circ$; daraus folgt, dass $\varphi(J_1) - \varphi(J_2) = \vartheta, - \delta + 180^\circ$. Ferner kann $\varphi(rx) - \varphi(J_3)$ entweder 0 oder 180° betragen; da die beiden Componenten in ihren Phasen um 180° differiren, so stimmt die Phase der Resultante bald mit der einen bald mit der andern überein, was von der Grösse des Winkels η abhängt. Wenn $\varphi(rx) - \varphi(J_3) = 0$, so ist $J_3 = rx \quad ru$; wenn dagegen $\varphi(rx) - \varphi(J_3) = 180^\circ$, so ist $J_3 = ru - rx$. Es ist gleichgültig, ob man die einen oder andern Werthe den homologen Schwingungsebenen des ersten und zweiten Objects; τ den Phasenunterschied, den die 2 Componenten eines Lichtstrahls im Gypsplättchen, δ den

---

in die Rechnung einführe; ich will $\varphi(rx) - \varphi(J_3) = 0$ annehmen Es sei $\varphi(rw) - \varphi(J_4) = \vartheta_{,,}$; es ist aber $\varphi(rx) - \varphi(rw) = -\delta$; daher $\varphi(J_3) - \varphi(J_4) = \vartheta_{,,} - \delta$. Für die Bestimmung des Werthes von $\vartheta_{,}$ und $\vartheta_{,,}$ hat man die Formeln (vd. Pag. 22)

$$\mathrm{Cos}\ \vartheta_{,} = \frac{ry - rt\,.\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta}{-J_2} \text{ und } \mathrm{Sin}\ \vartheta_{,} = \frac{-rt\,.\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta}{-J_2}$$

$$\mathrm{Cos}\ \vartheta_{,,} = \frac{rw + rz\,.\,\mathrm{Cos}\,2\,\delta}{-J_4} \text{ und } \mathrm{Sin}\ \vartheta_{,,} = \frac{rz\,.\,\mathrm{Sin}\,2\,\delta}{-J_4}$$

Es bedarf noch einer Bemerkung, warum in diesen Formeln J_2 und J_4 mit dem Zeichen — auftreten. Die Vibrationsintensitäten $\sqrt{J_1^2}$, $\sqrt{J_2^2}$, $\sqrt{J_3^2}$ und $\sqrt{J_4^2}$ können als Wurzeln positiv oder negativ sein, wie diess bereits für J_3 angeführt wurde. Für die ganze übrige Rechnung steht es frei, sie mit dem einen oder andern Zeichen einzuführen, weil die Compensation im Gangunterschied sich ergibt. Ich habe sie positiv genommen. In diesen Formeln aber treten J_2 und J_4 unabhängig auf, finden keine Correctur in der Phasendifferenz, und müssen, da sie beide mit Rücksicht auf die ersten Componenten (rx und rw), die ihrem Ursprunge nach negativ sind, bestimmt wurden, auch negativ genommen werden.

Wenn man nun einerseits J_1 und J_2, anderseits J_3 und J_4 interferiren lässt, so hat man

$$J_5^2 = J_1^2 + J_2^2 - 2\,J_1\,J_2\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,} - \delta)$$

$$J_6^2 = J_3^2 + J_4^2 + 2\,J_3\,J_4\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,,} - \delta)$$

$$\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,} - \delta) = \frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,\delta\,(\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}\,2\,\eta - \mathrm{Cos}^2\,\eta)}}{-J_2};$$

$$\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,,} - \delta) = \frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,\delta\,(\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}\,2\,\eta + \mathrm{Cos}^2\,\eta)}}{-J_4}$$

Werden diese Werthe und diejenigen für J_1, J_2, J_3 und J_4 substituirt, so hat man

$$J_5^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{4}\,\mathrm{Sin}\,4\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Sin}\,2\,\eta - \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]$$

$$J_6^2 = \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{4}\,\mathrm{Sin}\,4\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Sin}\,2\,\eta - \mathrm{Sin}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]$$

Endlich müssen noch J_5 und J_6 zur Interferenz gelangen, zu welchem Zwecke ihr Phasenunterschied zu bestimmen ist. Es sei $\varphi(J_1) - \varphi(J_5) = \gamma$ und $\varphi(J_3) - \varphi(J_6) = \vartheta$; es ist aber $\varphi(J_1) = \varphi(rs)$; $\varphi(J_3) = \varphi(rx)$ und $\varphi(rs) - \varphi(rx) = \tau + 180^\circ$. Daraus folgt, dass $\varphi(J_5) - \varphi(J_6) = \vartheta - \gamma + \tau \pm 180^\circ$. Für die Bestimmung von ϑ und γ gelten die Formeln

$$\mathrm{Cos}\ \gamma = \frac{J_1 - J_2\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,} - \delta)}{\sqrt{J_5^2}} = \frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}[1 - \mathrm{Cos}^2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta)]}}{\sqrt{J_5^2}}$$

$$\mathrm{Sin}\ \gamma = \frac{-J_2\,\mathrm{Sin}\,(\vartheta_{,} - \delta)}{\sqrt{J_5^2}} = -\frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,\eta\,\mathrm{Sin}\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + \eta) + \mathrm{Sin}\,(2\,\varepsilon + \eta)]}}{\sqrt{J_5^2}}$$

$$\mathrm{Cos}\ \vartheta = \frac{J_3 + J_4\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta_{,,} - \delta)}{\sqrt{J_6^2}} = \frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}[1 - \mathrm{Cos}^2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}\,2\,\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta)]}}{\sqrt{J_6^2}}$$

$$\mathrm{Sin}\ \vartheta = \frac{J_4\,\mathrm{Sin}\,(\vartheta_{,,} - \delta)}{\sqrt{J_6^2}} = \frac{\sqrt{\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,\eta\,\mathrm{Sin}\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + \eta) + \mathrm{Sin}\,(2\,\varepsilon + \eta)]}}{\sqrt{J_6^2}}$$

$\sqrt{J_5^2}$ und $\sqrt{J_6^2}$ können als Wurzeln ebenfalls je 2 Werthe, einen positiven und einen negativen annehmen. Es ist überflüssig, das Zeichen zu bestimmen, da die ersten Potenzen von J_5 und J_6 in der folgenden Schlussformel, nachdem für γ und ϑ die eben entwickelten Werthe eingeführt wurden, sich im Zähler und Nenner befinden und daher gegenseitig aufheben. Wenn die Interferenz von J_5 und J_6 vollzogen wird, so erhält man

$$J^2 = J_5^2 + J_6^2 - 2\,J_5\,J_6\,\mathrm{Cos}\,(\vartheta - \gamma + \tau).$$

Phasenunterschied, den 2 Componenten in jedem der beiden Objecte erlangen. Die Formel bleibt für alle Lagen der Objecte zu einander und zum Gypsplättchen, also für jede andere Construction der Figur die nämliche, vorausgesetzt, dass η und ε immer in positiver Richtung abgelesen werden.

Wir wollen sogleich die Veränderungen betrachten, welche das weisse Licht beim Durchgang durch ein Crystallplättchen und durch ein Paar doppelbrechender Körper erfährt. Mit Rücksicht auf den Charakter der sich bildenden Interferenzfarben lässt sich aus der obigen Formel für die Lichtintensität sogleich herleiten, dass dieselben niemals genau den Farben der Newton'schen Reihe entsprechen. Die Formel nimmt, wir können darin τ, δ, ε oder η variiren lassen, im Allgemeinen nie einen der Werthe an, den die Formel für den Crystallkeil (oder für die einfachen Crystallplättchen) gibt. Daher bleibt auch das Verhältniss zwischen den Intensitäten aller zusammentretender und die Mischfarbe bildender Elementarstrahlen ein anderes, und diese Mischfarbe kann nicht durch ein einfaches Crystallplättchen vernichtet werden.

Im Uebrigen bieten sich auch hier verschiedene Probleme dar. Sie betreffen die Veränderungen, welche die Interferenzfarben zeigen, 1) wenn ein festverbundenes Paar von Körpern auf einem Gypsplättchen um die senkrechte Axe gedreht wird (ε variabel und η constant), 2) wenn bei einer bestimmten Stellung der Schwingungsmediane der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen der beiden Objecte sich erweitert oder verengert (η variabel und ε eine bestimmte Function von η). Wir könnten ferner auch 3) die Dicke der beiden Körper also δ, oder 4) die Dicke des Gypsplättchens also τ sich verändern lassen. Doch sind nur die beiden ersten Fragen von wirklichem praktischen Interesse.

b. Interferenzfarben in den beiden orthogonalen Stellungen der Schwingungsmediane.

Wenn man ein festverbundenes Körperpaar um eine verticale Axe dreht (ε variabel), so zeigt die Medianlinie zwischen den homologen Schwingungsebenen

---

Nach Entwickelung von

$$\mathrm{Cos}(\vartheta - \gamma + \tau) = \mathrm{Cos}\,\vartheta\,\mathrm{Cos}\,\gamma\,\mathrm{Cos}\,\tau + \mathrm{Sin}\,\vartheta\,\mathrm{Sin}\,\gamma\,\mathrm{Cos}\,\tau - \mathrm{Sin}\,\vartheta\,\mathrm{Cos}\,\gamma\,\mathrm{Sin}\,\tau + \mathrm{Cos}\,\vartheta\,\mathrm{Sin}\,\gamma\,\mathrm{Sin}\,\tau$$

und nach Substituirung der Werthe für J_5, J_6, $\mathrm{Sin}\,\gamma$, $\mathrm{Cos}\,\gamma$, $\mathrm{Sin}\,\vartheta$ und $\mathrm{Cos}\,\vartheta$, ergibt sich

$$J^2 = 1 - \mathrm{Cos}\,\tau \Big\} 1 - \mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta) - \mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta + \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]\Big\{$$
$$- 2\,\mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + \eta) - \mathrm{Cos}\,\eta\,\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + 2\,\eta)\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta)]$$

Ich habe Eingangs der Einfachheit wegen $rc = 1$ und $rd = 1$ gesetzt. In den übrigen Problemen wurde bisher dem vom Polarisator kommenden in der Ebene AA, schwingenden Strahl die Lichtintensität 1 gegeben, so dass in diesem Falle $(rc)^2 = (rd)^2 = \frac{1}{2}$ und $rc = rd = \sqrt{\frac{1}{2}}$ zu setzen wäre. Wenn wir die Formel in dieser Weise abändern, um sie den andern analog zu machen, so erhalten wir

$$J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Cos}\,\tau \Big\} 1 - \mathrm{Sin}^2\,2\,\eta\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta) - \mathrm{Cos}^2\,\eta\,\mathrm{Sin}^2\,\delta\,[\mathrm{Cos}\,2\,\eta + \mathrm{Cos}\,(4\,\varepsilon + 2\,\eta)]\Big\{$$
$$- \mathrm{Sin}\,\tau\,\mathrm{Sin}\,\delta\,\mathrm{Cos}\,\eta\,[\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + \eta) - \mathrm{Cos}\,\eta\,\mathrm{Cos}\,(2\,\varepsilon + 2\,\eta)\,(1 + \mathrm{Cos}\,\delta)]$$

während einer halben Umdrehung zweimal eine diagonale und zweimal eine orthogonale Stellung. Diese 4 Lagen sowie auch alle intermediären Lagen liefern verschiedene Interferenzfarben, so dass also, bevor die halbe Umdrehung vollendet ist, nie dieselbe Farbe sich wiederholt.

Betrachten wir zuerst die orthogonalen Stellungen, so bieten dieselben vier mögliche Combinationen dar. Einmal kann die Mediane der beiden Schwingungsebenen langsamerer Fortpflanzung entweder mit der Schwingungsebene des polarisirenden Nicols, oder mit derjenigen des analysirenden Prisma's zusammenfallen. Jene will ich als Polarisatorstellung, diese als Analysatorstellung bezeichnen. In Fig. 27 und 28 ist A A, die Schwingungsebene des untern, B B, die des obern Prisma's; CC, FF, und KK, sind (analog wie in Fig. 38) die langsamen Schwingungsebenen des Gypsplättchens, des ersten und des zweiten Objectes; die Figuren zeigen diese Schwingungsebenen der beiden letztern in allen diagonalen und orthogonalen Stellungen. Bei A und A, befindet sich die Schwingungsmediane in der Polarisatorstellung, bei B und B, in der Analysatorstellung.

Nun können aber ferner die Polarisator- und ebenso die Analysatorstellungen unter sich durch eine verschiedene Reihenfolge der homologen Schwingungsebenen differiren. In Fig. 27 sind dieselben bei A (oder A,) so geordnet, dass F zwischen C und K zu liegen kommt (ebenso F, zwischen C, und K,); in Fig. 28 bei A dagegen befindet sich K zwischen F und C (bei A, ist K, zwischen F, und C,). Das erstere will ich die consecutive, das letztere die alternative Polarisatorstellung nennen; in jener folgen die homologen Schwingungsebenen des Gypsplättchens, des ersten und des zweiten Objectes, C, F und K wie die Stufen einer Treppe oder Leiter in gleicher Richtung auf einander, in dieser befinden sie sich in Zickzackfolge. — Ebenso gibt es eine consecutive und eine alternative Analysatorstellung; die erstere zeigt uns Fig. 28 bei B und B,, die letztere Fig. 27 bei B und B,.

Die allgemeine Intensitätsformel (Pag. 90) gibt uns die Bedeutung dieser verschiedenen Stellungen an, sobald wir die denselben entsprechenden Werthe einführen. Wenn wir den Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen der beiden Objecte, abgesehen von der Richtung, durch die positive Grösse e bezeichnen, und somit für die consecutive Polarisatorstellung $\eta = e$ und $\varepsilon = 45^\circ - {}^1/_2\, e$ setzen, so erhalten wir

$$J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos} \tau \left[1 - \operatorname{Sin}^2 2\, e\, (1 + \operatorname{Cos} \delta)^2\right] - \operatorname{Sin} \tau \operatorname{Sin} \delta \operatorname{Cos}^2 e \operatorname{Sin} e\, (1 + \operatorname{Cos} \delta).$$

Die nämliche Formel gilt natürlich auch für die consecutive Analysatorstellung, wo $\eta = 180^\circ - e$ oder $= -e$ und $\varepsilon = -45^\circ + \tfrac{1}{2} e$ oder $= 135^\circ + \tfrac{1}{2} \varepsilon$ ist. Dagegen hat man für die alternative Polarisatorstellung, wo $\eta = 180^\circ - e$ oder $= -e$ und $\varepsilon = 45^\circ + \tfrac{1}{2} e$ wird, und ebenso für die alternative Analysatorstellung, wo $\eta = e$ und $\varepsilon = -45^\circ - {}^1/_2\, e$ oder $= 135^\circ - {}^1/_2\, e$ ist,

$$J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos} \tau \left[1 - \operatorname{Sin}^2 2\, e\, (1 + \operatorname{Cos} \delta)^2\right] + \operatorname{Sin} \tau \operatorname{Sin} \delta \operatorname{Cos}^2 e \operatorname{Sin} e\, (1 + \operatorname{Cos} \delta).$$ (1)

---

(1) In Fig. 32 ist die Construction für die alternative Analysatorstellung gegeben. Die Bezeichnung ist die nämliche wie in Fig. 38, wobei die in ( ) eingeschlossenen Buchstaben

Es gibt also für ein Gypsplättchen und ein Paar gleicher Körper, die mit einem bestimmten Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen über einander liegen, 4 orthogonale Stellungen, von denen je 2 die gleiche Intensität des Elementarstrahls und somit die gleiche Interferenzfarbe geben; es sind dies einerseits die Stellungen in Fig. 27 bei A — A, und Fig. 28 bei B — B,, andererseits diejenigen bei B — B, in Fig. 27 und bei A — A, in Fig. 28; jene sind durch N, diese durch P bezeichnet.

Der Versuch bestätigt diese theoretischen Folgerungen. Wenn man z. B. 2 Crystallplättchen, von denen jedes Hellbläulich I gibt, und die mit dem Winkel $e = 22^{1}/_{2}{}^{\circ}$ über einander liegen, auf ein Gypsplättchen Roth I bringt, so erhält man in jeder der beiden orthogonalen Consecutivstellungen (Analysator- so wie Polarisatorstellung) Blau-Indigo, dagegen in den orthogonalen Alternativstellungen (Analysator- und Polarisatorstellung) Dunkelorange.

---

nicht zu berücksichtigen sind. Die Componenten rv und ry fallen zusammen, ebenso ru und rz. Wenn der positive Werth des Winkels zwischen den homologen Schwingungsebenen FF, und KK, mit e bezeichnet wird, so ist der Winkel ε ($\angle$ C r F) $= 135^{\circ} - \frac{1}{2}$ e und $\eta = $ e. Setzt man diese Werthe statt ε und η in die allgemeine Formel, so erhält man die zweite im Texte aufgeführte Formel (mit negativem Vorzeichen des letzten Gliedes). — Man kann auch den Winkel ε negativ ablesen als C r F,; dann ist $\varepsilon = -45^{\circ} - \frac{1}{2}$ e und $\eta = $ e. Die letztern Werthe, in die allgemeine Formel eingeführt, geben das nämliche Resultat.

Wenn man in der gleichen Figur 32 die Schwingungsebenen der beiden Körper mit den in ( ) eingeschlossenen Buchstaben bezeichnet, so hat man die nämliche Construction, aber für die consecutive Polarisatorstellung. Hier ist $\varepsilon = \angle$ C r (F) $= 45^{\circ} - \frac{1}{2}$ e und $\eta = \angle$ (F) r (K) $=$ e. Substituirt man in der allgemeinen Gleichung diese Werthe für ε und η, so erhält man eine andere Lichtintensität für den Elementarstrahl, nämlich die der ersten Formel (mit positivem Vorzeichen des letzten Gliedes).

Fig. 33 gibt die Construction für die consecutive Analysatorstellung, wobei die in ( ) eingeschlossenen Buchstaben vorerst zu vernachlässigen sind. Die Componenten rs und rt fallen zusammen, ebenso rx und rw. Wird der positive Werth des Winkels zwischen den Schwingungsebenen FF, und KK, wieder durch e ausgedrückt, so ist $\varepsilon = \angle$ C r F $= 135^{\circ} + \frac{1}{2}$ e und $\eta = \angle$ F, r K, $= 180^{\circ} -$ e; oder wenn man ε und η in negativer Richtung nimmt, so wird $\varepsilon = \angle$ C r F $= -45^{\circ} + \frac{1}{2}$ e und $\eta = \angle$ F r K, $= -$ e. Setzt man die einen oder andern Werthe für ε und η in die allgemeine Intensitätsgleichung, so erhält man die erste im Texte aufgeführte Formel, wie für die consecutive Polarisatorstellung.

Bezeichnet man in Fig. 34 die Schwingungsebenen der beiden Körper mit den in ( ) eingeschlossenen Lettern, so hat man die Construction für die alternative Polarisatorstellung. Es wird dann $\varepsilon = \angle$ C r (F) $= 45^{\circ} + \frac{1}{2}$ e und $\eta = \angle$ (F) r (K,) $= 180^{\circ} -$ e oder $\eta = \angle$ (F) r (K) $= -$ e. Wenn diese Werthe für ε und η in die allgemeine Gleichung gesetzt werden, so ergibt sich für J^2 die zweite Formel, also die gleiche wie für die alternative Analysatorstellung.

Dass die Polarisator- und Analysatorstellung mit gleichnamiger (consecutiver oder alternativer) Orientirung sich für den Effect identisch verhalten, konnte übrigens schon von Vornherein angenommen werden, da z. B. die alternative Analysatorstellung der Ebenen langsamerer Fortpflanzung zugleich die alternative Polarisatorstellung für die Ebenen schnellerer Fortpflanzung ist etc., und da es für die Intensitätsformel gleichgültig ist, ob man die einen oder anderen Ebenen zur Bestimmung der Winkel benütze.

c. Interferenzfarben in den beiden diagonalen Stellungen der Schwingungsmediane.

Berücksichtigen wir ferner die Diagonalstellungen, so können wir ebenfalls die homologen Schwingungsebenen in 4 verschiedenen Weisen combiniren. Wenn die Schwingungsmediane der beiden Körper mit der homologen Schwingungsebene des Gypsplättchens zusammentrifft, so kann von den Schwingungsebenen FF, und KK, bald die eine, bald die andere rechts oder links fallen (Fig. 27 bei C — C_1, Fig. 28 bei C—C_1). Dasselbe ist der Fall, wenn die Schwingungsmediane mit der heterologen Schwingungsebene des Gypsplättchens correspondirt. (Fig. 27 bei D — D_1, Fig. 28 bei D — D_1). Die erstern beiden Stellungen müssen wir in Uebereinstimmung mit der bisher angewendeten Terminologie die diagonalen Additions-, die letztern beiden die diagonalen Subtractionsstellungen nennen. Wenn wir auch hier für den Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen der beiden Körper den positiven Werth e in die allgemeine Intensitätsgleichung einführen, so erhalten wir für die beiden Additionsstellungen (M in Fig. 27 und 28), wo das eine Mal $\eta = e$ und $\varepsilon = 180^\circ - \frac{1}{2} e$ oder $= - \frac{1}{2} e$, das andere Mal $\eta = 180^\circ - \frac{1}{2} e$ oder $= - \frac{1}{2} e$ und $\varepsilon = \frac{1}{2} e$ ist, den gleichen Werth, nämlich

$$J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos} \varepsilon \, [1 - \operatorname{Sin}^2 2 e \, (1 + \operatorname{Cos} \delta) - 2 \operatorname{Cos}^4 e \operatorname{Sin}^2 \delta]$$
$$- \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \delta \operatorname{Cos} e \, [1 - \operatorname{Cos}^2 e \, (1 + \operatorname{Cos} \delta)].$$

Für die beiden Subtractionsstellungen (O in Fig. 27 und Fig 28), wo das eine Mal $\eta = e$ und $\varepsilon = 90^\circ - \frac{1}{2} e$, das andere Mal $\eta = 180^\circ - e$ oder $- e$ und $\varepsilon = \pm 90^\circ + \frac{1}{2} e$ ist, gilt die Formel

$$J^2 = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \operatorname{Cos} \varepsilon \, [1 - \operatorname{Sin}^2 2 e \, (1 + \operatorname{Cos} \delta) - 2 \operatorname{Cos}^4 e \operatorname{Sin}^2 \delta]$$
$$+ \operatorname{Sin} \varepsilon \operatorname{Sin} \delta \operatorname{Cos} e \, [1 - \operatorname{Cos}^2 e \, (1 + \operatorname{Cos} \delta)].$$ [1]

Es gibt also auch unter allen 4 Diagonalstellungen nur zwei, in denen die Lichtmengen der Elementarstrahlen und somit die Interferenzfarben verschieden sind.

Der Versuch bestätigt auch hier die Schlüsse, die aus der Rechnung gezogen wurden. Wenn man z. B. zwei mit Grau I bezeichnete Crystallplättchen, die mit dem Winkel $e = 45^\circ$ zu einander orientirt sind, auf ein Gypsplättchen Roth I legt, so geben sie in den diagonalen Additionslagen (welche C — C, in Fig. 27 und 28 entsprechen) Blau, in den Subtractionslagen (D — D, in Fig. 27 und 28) Orange.

---

(1) In der diagonalen Additionsstellung M in Fig. 27 ist, wenn der positive Werth des Winkels zwischen den homologen Schwingungsebenen FF, und KK, durch e ausgedrückt wird, $\varepsilon = 180^\circ - \frac{1}{2} e$ oder $= - \frac{1}{2} e$ und $\eta = e$. In der Additionsstellung M in Fig. 28 ist $\varepsilon = \frac{1}{2} e$ und $\eta = 180^\circ - e$ oder $= - e$. In der diagonalen Subtractionsstellung O in Fig. 27 ist $\varepsilon = 90^\circ - \frac{1}{2} e$ und $\eta = e$; in der Subtractionsstellung O in Fig. 28 ist $\varepsilon = 90^\circ + \frac{1}{2} e$ oder $= - 90^\circ + \frac{1}{2} e$ und $\eta = 180^\circ - e$ oder $- e$. Werden die einen oder andern dieser Werthe für ε und η in der allgemeinen Intensitätsgleichung substituirt, so erhält man immer die beiden im Text angeführten Formeln.

d. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn man das Körperpaar um seine verticale Axe dreht.

Dreht man ein festverbundenes Paar von Körpern auf einem Gypsplättchen um die verticale Axe, so gelangt dasselbe abwechselnd in die diagonale Additionsstellung (M), orthogonale Consecutivstellung (N), diagonale Subtractionsstellung (O) und orthogonale Alternativstellung (P), wie diess in Fig. 27 und 28 deutlich ist. Nur erhält man diese Folge je nach der gegenseitigen Lage der homologen Schwingungsebenen das eine Mal durch Rechts- das andere Mal durch Linksdrehung. Jede dieser 4 Stellungen gibt eine eigene Interferenzfarbe. In der folgenden Tabelle sind für die bei den microscopischen Untersuchungen vorkommenden Fälle diese 4 Farben zusammengestellt. Die erste Columne gibt die Farbe an, welche jedes einzelne der beiden mit einander verbundenen Objecte (Crystallplättchen, Membranen etc.) für sich im Polarisationsapparat zeigt, die zweite Columne den Winkel, den ihre homologen Schwingungsebenen mit einander bilden, die übrigen Columnen die 4 Hauptlagen M, N, O, P wie in Fig. 27 und 28. Die in ( ) eingeschlossenen Farben sind die des complementären Bildes.

2 Crystallplättchen	Winkel e	M diagonale Additionsstellung	N orthogonale Consecutivstellung	O diagonale Subtractionsstellung	P orthogonale Alternativstellung
1 Schwärzlichgrau	0	Indigoviolett II (Gelb)	Roth I (Grün)	Orange I (Hellblau)	Roth I (Grün)
2 —	22½°	Violett (Grünlichgelb)	Dunklerroth (Hellgrün)	Röthlichorange (Hellgrünlichblau)	Hellerroth (Grünlich)
3 —	45°	Röthlichviolett (Gelblichgrün)	Violettroth (Gelblichgrün)	Rothorange (Hellgrünlich)	Orangeroth (Bläulichgrün)
4 —	67½°	Rothviolett (Grünlich)	Dunklerroth (Hellergrün)	Dunklerrothorange (Grünlichweiss)	Hellerroth (Grünlich)
5 Grau I	0	Blaugrün II (Rothorange)	Roth I (Grün)	Hellgelb I (Indigo)	Roth I (Grün)
6 —	22½°	Grünlichblau (Röthlichorange)	Violettindigo (Gelb)	Orangegelb (Blauindigo)	Rothorange (Blaugrünlichweiss)
7 —	45°	Blau (Orange)	Indigo (Gelb)	Orange (Blau)	Dunkelorange (Hellblau)
8 —	67½°	Indigo (Gelb)	Violettindigo (Gelb)	Röthlichorange (Hellblau)	Rothorange (Blaugrünlichweiss)
9 Hellbläulich I	0	Gelb II (Indigo)	Roth I (Grün)	Hellbläulich I (Orange)	Roth I (Grün)
10 —	22½°	Grüngelb (Violett)	Blauindigo (Gelborange)	Weiss (Schmutzigroth)	Dunkelorange (Blau)

2 Crystallplättchen	Winkel e	M diagonale Additionsstellung	N orthogonale Consecutivstellung	O diagonale Subtractionsstellung	P orthogonale Alternativstellung
11 Hellbläulich I	45°	Hellgrün (Roth)	Blau (Orange)	Gelblichweiss (Indigoviolett)	Gelborange (Indigoblau)
12 —	67½°	Hellgrünlichblau (Orange)	Hellviolett (Gelb)	Hellröthlichorange (Blau)	Hellorange (Blau)
13 Weiss I	0	Roth II (Grün)	Roth I (Grün)	Schwarz (Weiss)	Roth I (Grün)
14 —	22½°	Hellrothorange (Bläulichgrün)	Grünlich (Hellroth)	Grünlich (Hellroth)	Hellroth (Grünlich)
15 —	45°	Grünlichgelb (Roth)	Grün (Roth)	Grünlichweiss (Roth)	Weiss (Schmutzigroth)
16 —	67½°	Grünlichweiss (Hellrothviolett)	Hellgrünlich (Hellroth)	Weiss (Schmutziggrünlich)	Weiss (Schmutzigbläulich)
17 Gelb I	0	Blaugrün III (Rothorange)	Roth I (Grün)	Weiss I (Orange)	Roth I (Grün)
18 —	22½°	Grün (Roth)	Rothorange (Bläulichweiss)	Weiss (Dunkelorange)	Blauindigo (Orangegelb)
19 —	45°	Gelb (Indigo)	Orange (Blau)	Weiss (Dunkelorange)	Bläulichweiss (Hellorange)
20 —	67½°	Orange (Blau)	Rothorange (Hellblau)	Bläulichlila (Gelblichgrün)	Helllila (Hellgrün)
21 Orange I	0	Hellgelb III (Violett)	Roth I (Grün)	Gelb I (Indigo)	Roth I (Grün)
22 —	22½°	Gelborange (Blauindigo)	Rothorange (Blaugrün)	Hellorange (Blau)	Dunkelindigo (Hellgelb)
23 —	45°	Orange (Blau)	Röthlichorange (Grünlichblau)	Weisslich (Hellblau)	Violett (Gelb)
24 —	67½°	Rothorange (Blaugrün)	(Rothorange) (Blaugrün)	Lila (Weisslich)	Violettroth (Gelbgrünlich)

Wenn man das festverbundene Paar von Körpern um eine verticale Axe dreht, so gehen die Farben der diagonalen und orthogonalen Stellungen allmälig in einander über. Dieser Uebergang ist ein doppelter; zuweilen geschieht er durch analoge Töne wie in der Newtonschen Skale, dann aber immer auf dem nächsten Wege bald in aufsteigender, bald in absteigender Folge. Andere Male findet der Uebergang so statt, als ob die beiden Farben sich nach und nach bedeckten. So geht, um einige Beispiele für den erstern Fall anzuführen, in der vorstehenden Tabelle Nro. 6 M (Grünlichblau) durch Indigo in N (Violettroth) und letzteres durch Rothorange in O (Orangegelb) über, ferner Nro. 10 M (Grüngelb) durch Blaugrün in N (Blauindigo) und Nro. 10 P (Dunkelorange) durch Orangegelb in M (Grüngelb), ebenso

Nro. 18 M (Grün) durch Gelb in N (Orange). Wenn eine Farbe sich in Weiss umändert, so wird sie heller, wobei der Ton in der Regel ziemlich der nämliche bleibt; so geht z. B. Indigo durch Hellviolettblau, Dunkelorange durch Hellorange in Weiss über. Sind die Farben der beiden Hauptstellungen wirklich oder beinahe complementär, z. B. Blau und Orange, Grünblau und Orange, Indigo und Gelb, Grün und Roth, so geschieht der Uebergang gewöhnlich durch reines oder wenig gefärbtes Weiss; der Charakter des letztern wird aus dem complementären Bild erkannt, wenn dieses nicht ebenfalls weiss ist.

Ich habe bereits gesagt, dass (wenn $e > 0$ und $< 90°$) für keinen Werth von ε eine Farbe der Newtonschen Reihe hervorgebracht wird. Man erhält also auch beim Drehen nie die Grundfarbe des Gypsplättchens, im vorliegenden Falle nie Roth I. Wenn jedoch die beiden Körper schwach doppelbrechend sind, wenn jeder z. B. Schwärzlichgrau oder Grau giebt, so hat man bei einer vollständigen Umdrehung 4mal Roth, nämlich in Fig. 27 und 28 in den Octanten zwischen N und O und zwischen P und M. Dieses Roth ist zwar nicht mit dem des Gypsplättchens vollkommen identisch, aber doch nur wenig verschieden davon. Sind die beiden Crystallplättchen mit Grau I bezeichnet, so erscheint jenes Roth, für den Fall, dass $e < 45°$, sobald die Schwingungsmediane sich um den Winkel $^1/_2 e$, und für den Fall, dass $e > 45°$, sobald sie sich um den Winkel $\frac{e - 45°}{2}$ von den orthogonalen Stellungen (N und P) entfernt hat; also in Nro. 6 und 8 der obenstehenden Tabelle um $11^1/_4{}°$, in Nro. 7 um $22^1/_2{}°$.

e. Veränderung der Interferenzfarbe, wenn der Winkel zwischen den beiden Körpern sich ändert.

Wir können ferner die Farbenänderungen betrachten, welche bei Veränderung des Winkels $e(\eta)$ zwischen den homologen Schwingungsebenen der beiden Körper eintreten. Diess hat nur Werth für die diagonalen und orthogonalen Stellungen der Schwingungsmediane, wobei ε stetig abnimmt, wenn $e(\eta)$ wächst und umgekehrt. Die Intensitäten der homogenen Strahlen sind schon früher für die diagonale Additions- und Subtractionsstellung (Pag. 97) und für die orthogonale Consecutiv- und Alternativstellung (Pag. 95) bestimmt worden. Wenn man in diesen Formeln e von 0 bis 90° zunehmen lässt, so hat man alle möglichen Fälle für die 4 genannten Stellungen. — Die Farbenänderungen sind aus obenstehender Tabelle (Pag. 98) ersichtlich, wo für e drei Werthe ($22^1/_2{}°$, 45° und $67^1/_2{}°$) angenommen wurden.

In der diagonalen Additionsstellung hat man für $e = 0$ als Additionsfarbe eine Nummer der Newtonschen Farbenreihe; für $e = 90°$ das Roth des Gypsplättchens. Es verwandelt sich also bei Erweiterung des Winkels e von 0 bis 90° jene Additionsfarbe allmälig in Roth I. Gehört dieselbe der zweiten Ordnung an, so geht sie im Allgemeinen durch Töne, die den Farben der zweiten Ordnung analog sind, also in absteigender Folge in Roth I. über (vgl. Nro. 1—16 der

Tabelle). Gehört die Additionsfarbe, die man für $e = 0$ erhält, der dritten Ordnung an, so geschieht der Uebergang in Roth durch Töne, die den Regenbogenfarben analog sind, in aufsteigender Folge (vgl. Nro. 17—24).

In der diagonalen Subtractionsstellung hat man für $e = 0$ als Subtractionsfarbe eine Nummer der gewöhnlichen Reihe; für $e = 90°$ wieder das Roth I des Gypsplättchens. Erweitert man den Winkel e von 0 bis 90°, so geschieht der Uebergang für den Fall, dass jene Subtractionsfarbe der ersten Ordnung angehört, im Allgemeinen durch Töne, die an die Farben der ersten Ordnung erinnern, in aufsteigender Folge. Ganz deutlich ist diess aber nur, wenn jeder der beiden Körper blos Grau I oder Hellbläulich I gibt. Sind sie stärker doppelbrechend, so herrschen die weissen Töne vor und verwischen den wirklichen Charakter der Interferenzfarben.

In den orthogonalen Stellungen beobachtet man für $e = 0$ und $e = 90°$ natürlich Roth I. Die grösste Abweichung von Roth zeigt sich, wenn $e = 45°$; ist $e \lessgtr 45°$, so hat man Uebergangsfarben. Eine bemerkenswerthe Verschiedenheit wird durch den Charakter der beiden Körper bedingt. Gibt jeder derselben Grau I, Hellbläulich I bis Weiss I, so hat man in der orthogonalen Consecutivstellung Töne, die den ersten Farben der zweiten Ordnung und in der Alternativstellung solche, die den letzten Farben der ersten Ordnung analog sind, also dort, um einen kürzern Ausdruck zu brauchen, Additions-, hier Subtractionsfarben (vgl. Nro. 1—16 der obenstehenden Tabelle). Wenn dagegen jeder der beiden Körper Gelb I oder Orange I gibt, so zeigen die Consecutiv- und Alternativstellungen die umgekehrten Erscheinungen, nämlich jene Subtractions- und diese Additionsfarben (vgl. Nro. 17--24).

X. Körper mit radialgestellten anisotropen Elementen, allein oder auf einem Crystallplättchen.

Es giebt noch ein ganz allgemeines Problem, welches bei der Beobachtung der organischen Elementartheile mit dem polarisirten Licht, die häufigste Anwendung findet. Wie verhalten sich solide oder hohle Cylinder, Kugeln, Ellipsoide, welche so gebaut sind, dass die doppelbrechenden Elemente wie Radien um die Axe oder den Mittelpunkt sich anlagern? Mit Rücksicht auf die theoretischen und praktischen Schwierigkeiten, welche einerseits die mathematische Behandlung und anderseits die Uebertragung auf die wirklichen Verhältnisse darbietet[1] (eine Ausnahme macht allein der vertical stehende Cylinder), will ich

---

(1) Die mathematische Behandlung müsste von bestimmten Voraussetzungen ausgehen. Sie könnte annehmen, dass die auf einem Radius hinter einander liegenden Elemente sich vollkommen gleich verhalten; sie könnte auch annehmen, dass ihre doppelbrechenden Eigenschaften in bestimmten Verhältnissen sich ändern. Die erstere Annahme würde wahrscheinlich nirgends bei den organisirten Elementartheilen eine Anwendung finden; rücksichtlich der letztern kennen wir die Verhältnisse nicht, in denen die Veränderungen statt-

von der genauen Bestimmung der Intensität des Elementarstrahles absehen u nur im Allgemeinen untersuchen, welche Erscheinungen die Interferenzfarben da bieten müssen.

a. Senkrecht stehender Cylinder und Hohlcylinder.

Für den Cylinder wird vorausgesetzt, dass die Elemente des gleichen Radi rücksichtlich der Richtung ihrer Schwingungsebenen genau unter einander übe einstimmen, dass alle Radien, welche in einer durch die Axe gelegten Ebe liegen, einander gleich sind, und dass alle auf einem zur Axe rechtwinklig Querschnitt befindlichen Radien sich so verhalten, als ob der nämliche Radius Kreise herumgeführt würde. Den einfachsten Fall bietet der senkrecht stehen Cylinder oder Cylindermantel. Da in demselben die doppelbrechenden Eleme in horizontalen Radien liegen, welche vom Centrum nach allen Seiten gerich sind, so zeigt er gleichzeitig alle diejenigen Erscheinungen, welche man nach u nach erhält, wenn man einen Crystall um seinen verticalen Durchmesser dre Dabei ist es gleichgültig, welche Richtung die Elastizitätsaxen zeigen; es könn 2 derselben mit dem Radius und der Cylinderaxe parallel sein, oder sie könn mit denselben beliebige Winkel bilden. Immerhin sind es nur die zwei in Querschnittsebene resultirenden Elastizitäten, welche wirksam werden, indem Elastizität parallel der Cylinderaxe keinen Effect hat.

Bei Anwendung von weissem Licht erscheinen auf dem Cylinderdurchsch 4 Radien, die zusammen ein rechtwinkliges Kreuz bilden, schwarz; es sind di jenigen Stellen, wo die Schwingungsebenen mit denen der beiden Polarisation prismen zusammenfallen. Die Quadranten zwischen den 4 dunkeln Radien, die Schwingungsebenen mehr oder weniger von dieser orthogonalen Richtung a weichen, sind von der nämlichen Interferenzfarbe erleuchtet, und zwar zeigen sich je in der Mitte, wo die Schwingungsebenen diagonal gestellt sind, am he sten. Das Nöthige hierüber ist schon Pag. 61—62 gesagt.

Wenn die Schwingungsebenen in den doppelbrechenden Elementen radi und tangential- gestellt sind, so ist das schwarze Kreuz in dem Cylin oder Cylindermantel orthogonal (Fig. 34, wo die Kreuze + die Lage der Schwi gungsebenen, AA und BB die Schwingungsebenen des Polarisators und Ana sators angeben). Bilden dagegen die Schwingungsebenen mit den Radien u

---

haben. Der Calcul müsste ferner den doppelbrechenden Elementen noch bestimmte optis Eigenschaften zuweisen; er müsste sie als einaxig oder zweiaxig betrachten, und ein b stimmtes Verhältniss ihrer Elastizitäts- oder Dichtigkeitsaxen voraussetzen. Die Combin tionen sind hier so zahllos, dass eine Anwendung auf die wirklichen Objecte, in denen f alle Andeutungen darüber mangeln, als unmöglich erscheint. Bei der Behandlung der b herigen Probleme waren alle diese Voraussetzungen unnöthig, weil es sich nur um zwei einer Ebene liegende Elastizitäten handelte. In der Kugel oder im liegenden Cylinder v der angegebenen Structur sind die drei Axen der optischen Elemente nach allen Richtung im Raume gekehrt; sie sind daher alle 3 wirksam und müssen in der Rechnung berüc sichtigt werden.

Tangenten einen spitzen Winkel, so steht das schwarze Kreuz schief und macht den nämlichen Winkel mit den Schwingungsebenen der Polarisationsprismen (Fig. 37).

Bringt man ein Gypsplättchen in den Polarisationsapparat, so sind die Erscheinungen analog; man beobachtet neben einander die Interferenzfarben, welche nach einander auftreten, wenn man einen Crystall auf demselben Gypsplättchen um seinen verticalen Durchmesser dreht. Ich verweise darüber auf Pag. 86—90. Man hat also statt des schwarzen Kreuzes ein Kreuz, welches von der Interferenzfarbe des Gypsplättchens erhellt ist, indem hier die Schwingungsebenen der Elemente des Cylinders mit denen der Polarisationsprismen zusammentreffen und desswegen unwirksam sind. In den Mittellinien zweier gegenüberstehender Quadranten (z. B. C–C in Fig. 34 und O–O in Fig. 37) haben die gleichnamigen Elastizitäten des Gypsplättchens und der Cylinderelemente eine identische Lage, und es wird desswegen der im Gypsplättchen erlangte Phasenunterschied um den des Cylinders vermehrt, und dem entsprechend die Interferenzfarbe in der Skale erhöht. In den Mittellinien der beiden andern Quadranten (D–D in Fig. 34 und P–P in Fig. 37) treffen die heterologen Schwingungsebenen auf einander; der Gangunterschied des Gypsplättchens wird durch den Cylinder vermindert und die Interferenzfarbe erniedriget. Zwei opponirte Quadranten zeigen also in ihrer Mitte eine Additionsfarbe, die beiden andern die entsprechende Subtractionsfarbe (vgl. die Tabellen auf Pag. 88, 89 für die Gypsplättchen Roth I, Gelb I und Blau II). Beide Farben gehen allmälig durch mittlere (nicht der Farbenreihe angehörende) Töne in die Grundfarbe des Kreuzes über. — Es ist selbstverständlich, das auch in diesem Falle das neutrale Kreuz gerade oder schief gestellt ist (Fig. 34 und 37) je nach der Lage der Schwingungsebenen in den doppelbrechenden Elementen.

Ich habe angenommen, dass die Elemente eines Radius unter einander nicht nur rücksichtlich der Schwingungsrichtungen, sondern auch rücksichtlich der Grösse der Elastizitäten übereinstimmen. Der gleiche Radius zeigt daher überall die nämliche Interferenzfarbe. Die Interferenzfarben nehmen aber von dem Centrum nach dem Umfange an Deutlichkeit zu, weil sie sich auf eine grössere Breite ausdehnen. — Wenn die Elemente eines Radius nur die Schwingungsrichtungen gemein haben, aber in der Grösse der Elastizitäten von einander abweichen, so wechseln selbstverständlich auch die Interferenzfarben von der Peripherie nach dem Mittelpunkte. Der Cylinder verhält sich nun so, als ob er aus verschiedenen Cylindermänteln zusammengesetzt wäre.

b. Horizontalliegender Cylinder, in welchem eine Elastizitätsaxe radial, eine andere der Cylinderaxe parallel ist.

Beim senkrecht stehenden Cylinder wie bei allen bisherigen Problemen kommen nur 2 Elastizitäten oder Aetherdichtigkeiten der doppelbrechenden Elemente in Betracht, nämlich die in einer horizontalen Ebene befindlichen, während die verticale für die Intensität der Elementarstrahlen und für die Erzeugung der Interferenzfarben unwirksam ist. In dem horizontalen Cylinder dagegen, so wie in der Kugel und im Ellipsoid gelangen an verschiedenen Stellen alle 3 Elastizitätsaxen zur Geltung; und die Betrachtung muss daher von bestimmten Annahmen über das Verhältniss derselben ausgehen.

Die Aetherdichtigkeit oder die optische Elastizität kann durch ein Ellipsoid ausgedrückt werden, dessen Halbaxen den Elastizitätsaxen proportional sind (Pag. 12, 15). Der in irgend einer Richtung hindurchgehende Lichtstrahl wird durch die ungleiche Elastizität, welche er in einer seine Richtung rechtwinklig schneidenden Ebene antrifft, in zwei polarisirte Componenten zerlegt. Jene ungleiche Elastizität wird durch einen zur Richtung des Strahls senkrechten Diametralschnitt des Elastizitätsellipsoids ausgedrückt. Derselbe ist im Allgemeinen eine Ellipse, deren Axen der grössten und kleinsten wirksamen Elastizität entsprechen und somit auch die Lage der Schwingungsebenen angeben. Von dieser Elastizitätsellipse hängt also der optische Effect des doppelbrechenden Elements ab. Ist dasselbe optisch einaxig, so giebt es nur eine Richtung für den Lichtstrahl, in welcher die Ellipse zum Kreise wird und die anisotrope Eigenschaft aufhört. In dem optisch zweiaxigen Element gibt es zwei kreisförmige Durchschnitte des Elastizitätsellipsoids.

Ich will zuerst den liegenden Cylinder untersuchen und dabei voraussetzen, dass die eine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfalle, die andere mit der Cylinderaxe parallel laufe und die dritte zu Radius und Axe senkrecht gestellt sei. Unter den vorausgesetzten Bedingungen ist es leicht, sich eine Vorstellung von der Anordnung der den Cylinder zusammensetzenden Elemente zu machen. Ein unendlich dünner Querschnitt, der aus einer einfachen Schicht von Elementen bestehend gedacht werden kann, gibt uns alle vorkommenden Verhältnisse an. In Fig. 35 ist ein Quadrant des Querschnittes durch den liegenden Cylinder dargestellt; die Lichtstrahlen gehen in der Richtung A, A hindurch. Berücksichtigen wir zuerst nur die auf einem concentrischen Kreis befindlichen Elemente, so gibt es 4 Punkte, wo eine Elastizitätsaxe senkrecht steht; zwei entsprechen dem horizontalen (BB,) und zwei dem verticalen Durchmesser (AA,). In dem horizontalen Durchmesser ist eine andere Elastizitätsaxe mit den durchgehenden Lichtstrahlen parallel und daher unwirksam, als in dem verticalen; die Elastizitätsellipse, welche rechtwinklig zum Lichtstrahl sich befindet, ist daher in den beiden Lagen verschieden. Die Elemente, welche zwischen je zweien der genannten Punkte sich befinden, zeigen wechselnde Stellungen der Elastizitätsaxen, in der Art, dass die eine Lage allmälig in die andere übergeht.

In Fig. 35 deuten die Kreuze in dem Quadranten AB, des äussersten Kreises die Stellungen zweier Elastizitätsaxen an; die dritte, parallel zur Cylinderaxe und in der Zeichnung rechtwinklig zur Papierebene, hat eine constante Richtung. Es ist daher einleuchtend, dass jedes der in dem Quadranten eines concentrischen Kreises befindlichen Elemente den durchgehenden Lichtstrahlen eine andere Elastizitätsellipse darbietet, und daher dieselben in verschiedener Weise in zwei polarisirte Componenten zerlegt. In dem gegenüberliegenden Quadranten gehen die Veränderungen in gleicher, in den anliegenden Quadranten in entgegengesetzter Reihenfolge vor sich. Es ist ferner einleuchtend, dass nur derjenige Strahl, der durch das Centrum geht, lauter gleiche Elemente antrifft (Fig. 35 A, r A). Alle excentrisch den Cylinder durchsetzenden Strahlen, finden in einem Quadranten lauter ungleiche Elemente, d. h. solche mit ungleichen Elastizitätsellipsen, weil jedes einem andern Radius der concentrischen Kreise entspricht. In Fig. 35 sind auf der senkrechten Linie b d die Richtungen zweier Elastizitätsaxen angegeben; die durch den untern Quadranten verlängerte Linie d b zeigt mit Rücksicht auf die Radien analoge Stellungen der Elastizitätsaxen in umgekehrter Folge.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich, dass die Phasenunterschiede, welche die durch den Querschnitt des liegenden Cylinders gehenden Lichtstrahlen erlangen im Allgemeinen ungleich, dass aber ihre Werthe nicht der Weglänge durch den Cylinder proportional sind. Sie können geringer, sie können auch beträchtlicher sein, als es die Weglänge bedingt. Es entspricht also jedem Punkte des Umfanges an dem Querschnitt durch die Cylinderhälfte eine andere optische Wirkung und somit bei Anwendung von weissem Lichte eine andere Interferenzfarbe. Die andere Cylinderhälfte zeigt die gleichen Wirkungen in umgekehrter Ordnung. Da alle Querschnitte sich gleich verhalten, so gruppiren sich auf der Oberfläche des liegenden Cylinders die identischen Wirkungen nach Linien, welche mit der Axe parallel laufen; und der Cylinder ist mit farbigen Längsstreifen bedeckt, wobei die beiden Hälften sich symmetrisch gestalten.

Die Schwingungsebenen aller auf einem Querschnitt des liegenden Cylinders befindlichen Elemente sind für die senkrecht hindurchgehenden Strahlen unter einander parallel; die eine fällt mit dem Querschnitt selbst zusammen (oder mit der Papierebene in Fig. 35), denn diess ist ein Hauptschnitt; die andere ist parallel mit der Cylinderaxe. Daher zeigt ein liegender Cylinder in den orthogonalen Stellungen keine, in den diagonalen dagegen die intensivsten doppelbrechenden Eigenschaften. Ich will nur die letztern Stellungen berücksichtigen. Das verschiedene Verhältniss der Elastizitäts- oder Dichtigkeitsaxen in den Elementen gestattet folgende 6 Möglichkeiten.

1) Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig; die optische Axe trifft mit dem Radius zusammen (Fig. 35 stellt den Querschnitt des Cylinders dar; die Strahlen gehen in der Richtung A,A durch). — Der in diagonaler Stellung befindliche Cylinder zeigt auf der Mittellinie einen schwarzen, daneben parallele farbige Streifen. Der mittlere schwarze Streifen geht nämlich beiderseits allmälig in Interferenzfarben über, welche bis zu einer gewissen Entfernung vom Rande durch die Newtonsche Skale emporsteigen (Grau, Hellbläulich, Weiss, Gelb etc.) und von da nach dem Rande in umgekehrter Folge wieder rasch zurückgehen. — Auf einem Gypsplättchen hat die Mitte des Cylinders dessen Grundfarbe, von welcher aus in den Additionslagen die Farben durch die Reihe empor-, in den Subtractionslagen niedersteigen, bis sie am Wendepunkt angelangt nach dem Rande sich in umgekehrter Ordnung wiederholen. — Die optischen Elemente können positiv- oder negativ-einaxig sein. Die einzigen Verschiedenheiten, welche dadurch bedingt werden, sind die, dass der liegende Cylinder bei gleicher diagonaler Stellung im einen Fall Additions- im andern Subtractionsfarben zeigt, und dass im aufrechten Cylinder die Additions- und Subtractionsquadranten vertauscht sind.

2) Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig; die optische Axe ist parallel der Cylinderaxe, sie befindet sich also in einem horizontalliegenden Radius rechtwinklig zu demselben und zu den durchgehenden Strahlen, also ebenfalls horizontal. Wenn Fig. 35 einen Querschnitt und A,A die Richtung der Strahlen bezeichnet, so sind die optischen Axen in B–B, senkrecht zur Papierebene. — Der Cylinder in senkrechter Stellung würde einfachbrechend sein. Liegend und mit diagonal gerichteter Axe ist derselbe ganz mit Interferenzfarben bedeckt, welche streifenartig mit der Axe parallel laufen; sie beginnen am Rande und steigen durch die Newtonsche Skale empor bis zur Mitte, welche die höchste Farbe zeigt. Auf einem Gypsplättchen beginnt die Farbenreihe am Rande von dem Grundtone des Gesichtsfeldes aus, und erhebt sich von da in der Additionslage, in der Subtractionslage fällt sie durch die Nummern der Farbenskale. — Die optischen Elemente können positiv oder negativ sein, was sich nur darin kund gibt, dass der liegende Cylinder bei gleicher diagonaler Lage auf einem Gypsplättchen im einen Falle Additions-, im andern Subtractionsfarben gibt.

3) Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig; die optische Axe liegt tangential und rechtwinklig zur Cylinderaxe, d. h. in einem horizontalliegenden Radius parallel zu den durchgehenden Strahlen, also vertical. Ist Fig. 35 ein Querschnitt und A, A die Richtung der Strahlen, so sind die optischen Axen in B–B, ebenfalls senkrecht. — In aufrechter Stellung würde der Cylinder das neutrale Kreuz und die Quadranten zeigen; der liegende Cylinder verhält sich ähnlich wie bei Nro. 2; nur erscheint der Rand selbst schwarz oder mit der Grundfarbe des Gesichtsfeldes. — Die Verschiedenheiten, welche durch den positiven oder negativen Charakter der optischen Elemente bedingt werden, bestehen auch hier darin, dass der liegende Cylinder bei gleicher Lage das eine Mal Additions-, das andere Mal Subtractionsfarben zeigt, und dass in dem verticalen Cylinder die Additions- und Subtractionsquadranten in beiden Fällen die umgekehrte Lage haben.

4) Die doppelbrechenden Elemente sind zweiaxig; die Axe mittlerer Elasticität fällt mit dem Radius zusammen. — Der liegende Cylinder ist ganz mit streifenförmigen Interferenzfarben bedeckt, welche wie bei Nro. 2 von dem Rande bis zur Mitte durch die Newtonsche Skale emporsteigen. Nirgends kommt eine optische Axe in senkrechte Stellung. — Die Lage der Elastizitätsaxen bedingt zwei Modificationen dieses Typus, jenachdem die grösste oder die kleinste Elastizitätsaxe in einem horizontalliegenden Radius parallel ist mit den durchgehenden Strahlen (also in Fig. 35 B–B, senkrecht). Die Wirkung äussert sich darin, dass der horizontale Cylinder bei gleicher diagonaler Stellung im einen Falle Additions-, im andern Subtractionsfarben zeigt und dass die Additions- und Subtractionsquadranten im aufrechten Cylinder die umgekehrte Lage haben.

5) Die doppelbrechenden Elemente sind zweiaxig; von den Axen grösster und kleinster Elastizität ist die eine radial gestellt; die andere geht parallel mit der Cylinderaxe, liegt also in einem horizontalen Radius rechtwinklig zu diesem und zu den durchgehenden Strahlen (in Fig. 35 B–B, senkrecht zur Papierebene). — Der liegende Cylinder ist ganz mit parallelen streifenförmigen Interferenzfarben bedeckt, deren Reihenfolge aber unbestimmt ist, oder wenigstens verschiedene

Abweichungen zulässt. Die optischen Axen befinden sich nirgends in verticaler Stellung. Die verschiedene Lage der Elastizitätsaxen veranlasst auch hier 2 Modificationen, die sich nur in der Umkehrung der Additions- und Subtractionsquadranten des aufrechten Cylinders und ferner darin geltend machen, dass der horizontale in gleicher diagonaler Stellung befindliche Cylinder im einen Falle mit Additions-, im andern mit Subtractionsfarben bedeckt ist.

6) Die doppelbrechenden Elemente sind zweiaxig; von den Axen grösster und kleinster Elastizität ist die eine radial; die andere liegt tangential und rechtwinklig zur Cylinderaxe d. h. in einem horizontalen Radius parallel mit den durchgehenden Strahlen (in Fig. 35 B-B, senkrecht). — Der liegende Cylinder ist ganz von parallelen streifenförmigen Interferenzfarben erhellt mit Ausnahme zweier schwarzer Streifen, von denen je einer zwischen der Mitte und dem Rande sich befindet und die beide gleichweit von den Rändern entfernt sind. Von den schwarzen Streifen erheben sich die Farben in der Newtonschen Skale bis zur Mitte des Cylinders; ebenso findet zwischen dem Rande und jedem schwarzen Streifen ein Steigen und Fallen der Farbenreihe statt.

Die Nothwendigkeit dieser Erscheinungen zeigt die theoretische Betrachtung. In Fig. 35, welche einen Querschnitt des Cylinders darstellt, geben die Kreuze die Lage der grössten und kleinsten Elastizitätsaxe an; die mittlere Axe steht senkrecht auf der Papierfläche. Die Elemente, welche in dem Radius ra sich befinden, haben eine optische Axe vertical d. h. parallel mit den durchgehenden Strahlen; sie sind daher einfachbrechend. Alle Elemente, welche in dem Quadranten B,rA unterhalb der Linie ra, ebenso alle, welche oberhalb derselben liegen, verhalten sich doppelbrechend; aber beide Gruppen haben die entgegengesetzte Wirkung. In der untern Gruppe liegt für den in der Richtung A,A durchgehenden Strahl die grössere Elastizität parallel mit dem Radius BB,, in der obern Gruppe dagegen parallel mit der Cylinderaxe, also in der Zeichnung senkrecht zur Papierebene. Daraus folgt, dass die Elemente, welche in dem Quadranten auf jeder mit AA, parallelen Linie hinter einander sich befinden, sich in ihren optischen Effecten theilweise aufheben. Auf der Linie b c d halten die zwischen b und c befindlichen denen zwischen c und d genau das Gleichgewicht; der Phasenunterschied, den ein Strahl von b bis c erlangt, wird von c bis d wieder aufgehoben. Wie der Quadrant B,rA verhält sich auch der unter demselben befindliche. Die auf der Linie d c b durch den ganzen Querschnitt des Cylinders befindlichen Elemente geben also im Polarisationsapparat einen schwarzen Punkt; und alle Querschnitte des Cylinders zusammen eine schwarze Linie. Rechts und links von dieser Linie geht das Schwarz allmälig in Grau, Hellbläulich etc. über, weil auf der einen Seite (in Fig. 35 links) die Elemente der untern Gruppe arB,, auf der andern Seite (rechts) die der obern Gruppe arA um so mehr überwiegen, je weiter man sich von der Linie bcd entfernt. Nach dem Rande selbst findet wieder ein Fallen der Interferenzfarben statt. Es versteht sich, dass die andere Cylinderhälfte sich symmetrisch verhält. — Auf einem Gypsplättchen nehmen die 2 schwarzen Streifen die Grundfarbe desselben an, und von den Partieen des Cylinders, welche innerhalb und ausserhalb der neutralen Streifen gelegen sind, zeigen die einen Additions-, die andern Subtractionsfarben.

Modificationen innerhalb dieses Typus werden durch die verschiedenen Stellungen der Elastizitäts- und der optischen Axen hervorgebracht. Was die erstern betrifft, so kann entweder die grösste oder die kleinste Elastizitätsaxe radial gerichtet sein. In Folge dessen befinden sich an dem liegenden Cylinder bei gleicher diagonaler Orientirung die Additionsfarben das eine Mal zwischen den beiden neutralen Linien, das andere Mal ausserhalb derselben; ebenso sind die Additions- und Subtractionsfarben an dem aufrechten Cylinder auf andere Quadranten vertheilt.

Von der Stellung der optischen Axen, d. h. von dem Winkel, welchen dieselben mit der grössten oder kleinsten Elastizitätsaxe bilden, hängt die Lage des neutralen Streifens ab. Beträgt dieser Winkel 45°, sind also die optischen Elemente, aus denen der Cylinder zusammengesetzt ist, weder positiv noch negativ, so ist die neutrale Linie nahezu um die Hälfte des Radius von dem Rande entfernt. Wenn die grösste Elastizitätsaxe radial gestellt ist und die Elemente optisch positiv sind, so beträgt die Entfernung der neutralen Linie von dem Rande mehr als die Hälfte des Radius; sie beträgt weniger, wenn die Elemente einen negativen Charakter haben. Ist dagegen die kleinste Elastizitätsaxe radial, so entfernt sich die neutrale Linie, wenn die Elemente optisch positiv sind, von dem Rande um weniger als die Hälfte des Radius, sie entfernt sich bei negativem Charakter der Elemente um mehr als die Hälfte.

c. Horizontal-liegender Cylinder, in welchem eine Elastizitätsaxe radial, die beiden andern zur Cylinderaxe schief gestellt sind.

Die 6 behandelten Fälle enthalten alle Möglichkeiten für die Annahme, dass eine der Elastizitätsaxen mit dem Radius und eine mit der Axe des Cylinders parallel laufe. Es wäre ferner denkbar, dass zwei Elastizitätsaxen entweder mit der Cylinderaxe oder mit dem Radius oder mit der zu Radius und Axe rechtwinkligen Richtung einen spitzen Winkel bildeten, oder dass auch alle 3 Elastizitätsaxen eine schiefe Lage zeigten. Es lohnt sich nicht der Mühe, alle diese Verhältnisse ins Einzelne zu verfolgen, da nur ein Fall bei den organischen Elementartheilen wirklich vorzukommen scheint, nämlich der, dass bei radialer Stellung einer Elastizitätsaxe die beiden andern zur Cylinderaxe schief gerichtet sind.

In diesem Falle weichen die auf einem Querschnitt des liegenden Cylinders befindlichen Elemente nicht nur in den Elastizitätsellipsen, die für die durchgehenden Strahlen wirksam werden, sondern auch in den Schwingungsrichtungen von einander ab. Nur diejenigen, welche den horizontalen durch das Centrum gehenden Durchmesser einnehmen (B – B, in Fig. 35) stimmen in beiden Beziehungen unter einander überein, anderseits ebenso diejenigen, welche im senkrechten Durchmesser (A – A,) über einander stehen. Aber bloss die im erstgenannten Durchmesser liegenden Elemente haben ihre Schwingungsrichtungen parallel und senkrecht zur Cylinderaxe; in allen andern schwingt der Lichtstrahl in schiefen Richtungen.

Die Figuren 21—24 zeigen von oben gesehen die Elastizitätsellipsen der auf der Cylinderoberfläche in einer Querzone neben einander liegenden Elemente, in sofern dieselben für die zur Papierebene vertical durchgehenden Lichtstrahlen wirksam sind. Die rechts und links am Rande befindlichen Elemente (r) gehören dem durch das Centrum gehenden Durchmesser an. Sie sind auf dem ganzen Durchmesser mit Ausschluss des Centrums gleich; von ihnen aus bis zu den an der Oberfläche liegenden (in den Figuren 21—24 dargestellten) Elastizitätsellipsen gehen die Veränderungen in Gestalt und Richtung allmälig vor sich. — Auf der abgekehrten Seite des Cylinders befindet sich ein Element mit einer in der Gestalt gleichen, aber durch symmetrische Lage abweichenden Elastizitätsellipse. In Fig. 21B—24B sind von der Mittellinie des Cylinders die Elastizitätsellipsen des obersten (s) und des untersten Elements (i) in ihrer relativen Lage dargestellt. In der Mitte zwischen beiden, nahe dem Centrum des Cylinders befinden sich Ellipsen von der gleichen Form und Stellung wie am Rande. Man erhält ein vollständiges Bild, wenn man in Gedanken zwischen denselben und i einerseits, s anderseits eine beliebige Zahl von Ellipsen einschiebt, welche in der Richtung und in der Gestalt allmälig in i und s übergehen.

Man hat also auf jeder Verticalen des liegenden Cylinders eine Reihe von optischen Elementen, die in 2 symmetrische Hälften zerfallen; die beiden Hälften bilden mit ihren homologen Schwingungsrichtungen eine Wendeltreppe, wobei die Stufen der einen Hälfte nach rechts, die der andern nach links von der Richtung der Cylinderaxe abweichen. Es muss daher ein liegender Cylinder von der angegebenen Beschaffenheit rücksichtlich der optischen Wirksamkeit, welche jede Längslinie gibt, gewissermassen mit einem Paar von Crystallplatten, die mit einem spitzen Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen zu einander orientirt sind, übereinstimmen. Der Unterschied liegt nur darin, dass am Cylinder in jeder Verticalen nicht nur ein Plattenpaar, sondern sehr viele und sehr dünne Plattenpaare sich befinden, welche alle im Elastizitätsellipsoid und im Winkel zwischen den gleichnamigen Schwingungsebenen unter einander abweichen, in der Schwingungsmediane aber zusammentreffen.

Indem ich auf das verweise, was von einem Plattenpaar ausgesagt wurde, beschränke ich mich rücksichtlich des liegenden Cylinders von der angegebenen Beschaffenheit auf einige allgemeine Bemerkungen. Derselbe erscheint im Polarisationsapparat (ohne Gypsplättchen) überhaupt in keiner Richtung und an keiner Stelle ganz dunkel. Die Farben, die er zeigt, sind nicht diejenigen der Newtonschen Reihe, wohl aber können sie denselben mehr oder weniger analog sein. Bei Anwendung eines Gypsplättchens erfolgt der Uebergang der Additions- in die Subtractionsfarben durch die nächsten Mitteltöne und somit im Allgemeinen nicht durch die Grundfarbe des Gesichtsfeldes. Wenn der liegende Cylinder um einen verticalen Durchmesser gedreht wird, so gibt er in den diagonalen Stellungen den grössten Effect, d. h. seine Farben sind den höchsten Nummern der Newtonschen Farbenskale ähnlich, die er überhaupt erreichen kann; und bei Anwendung eines Gypsplättchens zeigt er in der einen diagonalen Stellung die grösste Addition, in der andern die grösste Subtraction, je nachdem die Schwingungsmediane mit der homologen oder heterologen Schwingungsebene im Gypsplättche zusammentrifft. Unter mehrern Cylindern von gleicher Dicke und gleicher Brechbarkeit der optischen Elemente kommt derjenige der Dunkelheit resp. der niedrigsten Nummer der Farbenskale oder bei Anwendung eines Gypsplättchens de Grundfarbe desselben am nachsten, in welchem die wirksamsten optischen Elemente mit der Cylinderaxe einen Winkel von 45° bilden, weil ihr Effect von de entsprechenden Elementen auf der gegenüberliegenden Seite, die von der Cylinderaxe in entgegengesetzter Richtung um 45° abweichen, vernichtet wird.

Die verschiedene Lage, welche die Elastizitätsaxen zeigen können, beding einige Verschiedenheiten, die sich hauptsächlich darin kund geben, dass der liegende, in Diagonalstellung befindliche Cylinder entweder von Farben gleiche Natur (Additions- oder Subtractionsfarben) oder von ungleicher Natur bedeck ist, wie sich diess an den möglichen Vorkommnissen leicht darthun lässt, währen der aufrechte Cylinder immer ein orthogonales, neutrales Kreuz zeigt.

7) Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig und positiv; die optisch Axe ist senkrecht zum Radius und bildet mit der Cylinderaxe einen schiefen Winke Wenn dieser Winkel kleiner ist als 45°, so zeigen bei Anwendung eines Gypsplättchens die Interferenzfarben auf der Mitte des liegenden Cylinders den gleiche Charakter wie am Rande, d. h. sie sind entweder überall in der Addition ode überall in der Subtraction. Erweitert sich aber der genannte Winkel stark übe 45°, so können die Farben in der Mitte des Cylinders den entgegengesetzte Charakter von denjenigen am Rande annehmen.

8) Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig und negativ; die optische Axe ist senkrecht zum Radius und bildet mit der Cylinderaxe einen schiefe Winkel. Ist dieser Winkel kleiner als 45°, so haben die Farben auf der Mitte des liegenden Cylinders bei Anwendung eines Gypsplättchens den gleichen additionalen oder subtractionalen Character wie am Rande. Wenn dagegen der besagte Winkel beträchtlich grösser wird als 45°, so können die Farben in de Mitte sich umgekehrt verhalten von denjenigen am Rande.

9) Die doppelbrechenden Elemente sind zweiaxig; die mittlere Elastizitätsaxe ist radial gestellt, und die Elastizitat parallel der Cylinderaxe ist grösser. Fig. 21 zeigt die Elastizitätsellipsen der an der Oberfläche des liegenden Cylinders befindlichen Elemente. Wenn auf der Mittellinie desselben (m) der Winkel zwischen der Cylinderaxe und der grössten Elastizitätsaxe 45° oder weniger beträgt (wie es Fig. 21 darstellt), so hat daselbst bei Anwendung eines Gypsplättchens die Interferenzfarbe natürlich den gleichen Charakter wie am Rande, d. h. sie ist überall entweder in der Addition oder in der Subtraction. Steigt aber der genannte Winkel in der Mittellinie bedeutend über 45°, so kann die Farbe hier den entgegengesetzten Charakter von derjenigen am Rande annehmen.

Am aufrecht stehenden Cylinder zeigen bald die einen, bald die andern Quadranten Additionsfarben. Dies hangt von den beiden Winkeln ab, den die grösste Elastizitatsaxe mit der Cylinderaxe einerseits und mit der optischen Axe anderseits bildet. Nennt man jenen ξ und diesen α, so haben wenn $\xi > \alpha$, die Farben am Rande des liegenden Cylinders den namlichen Charakter wie die beiden

Quadranten des aufrechtstehenden, welche in der mit dem liegenden Cylinder der Richtung nach zusammen treffenden Diagonale sich befinden. Die Farben haben den umgekehrten Charakter, wenn $\xi < \alpha$. — Die optisch positive oder negative Natur der Elemente, aus denen der Cylinder zusammengesetzt ist, macht sich folgender Massen geltend. Sind die Elemente negativ ($\alpha > 45$), so haben die Farben am Rande des liegenden Cylinders und in denjenigen Quadranten des aufrechten, die der gleichlaufenden Diagonale angehören, den entgegengesetzten Charakter. Sind sie positiv, so können die Farben übereinstimmen oder nicht. — Wenn der Winkel $\xi = 45°$ oder grösser ist, so sind die Elemente des Cylinders immer positiv; wenn er kleiner als 45° ist, so können sie positiv oder negativ sein.

10. Die mittlere Elastizitätsaxe der zweiaxigen Elemente ist radial gestellt; die Elastizität parallel der Cylinderaxe ist kleiner. In Fig. 22 sind die Elastizitätsellipsen der zugekehrten Cylinderfläche dargestellt. Ist auf der Mittellinie derselben der Winkel zwischen der grössten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe 45° oder grösser, so befinden sich bei Anwendung eines Gypsplättchens die Farben in der Mitte und am Rande, beide in Addition oder beide in Subtraction. Wenn dagegen der genannte Winkel beträchtlich unter 45° herabgedrückt wird (wie es in Fig. 22 der Fall ist), so kann die Farbe in der Mitte den entgegengesetzten Charakter zeigen.

Der aufrecht stehende Cylinder zeigt die Additionsfarben bald in den einen, bald in den andern Quadranten. Diejenigen zwei Quadranten, deren Diagonale der Richtung nach mit dem liegenden Cylinder übereinstimmt, haben den gleichen Farbencharakter wie der Rand des letztern, wenn der Winkel zwischen der längsten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe kleiner ist, als der Winkel zwischen der längsten Elastizitätsaxe und der optischen Axe (also $\xi < \alpha$). Die Farben haben den umgekehrten Character, wenn $\xi > \alpha$. — Wenn die Elemente, aus denen der Cylinder besteht, optisch positiv sind ($\alpha < 45°$), so ist der Farbencharakter am Rande des liegenden Cylinders und in den beiden Quadranten des aufrechten, die einer gleichlaufenden Diagonale angehören, entgegengesetzt. Wenn sie negativ sind ($\alpha > 45°$), so kann er der nämliche sein oder nicht. — Wenn der Winkel $\xi = 45°$ oder kleiner ist, so sind die Elemente des Cylinders immer negativ; ist $\xi > 45°$, so können sie positiv oder negativ sein.

11) Die grösste Elastizitätsaxe der zweiaxigen Elemente ist radial gestellt (Fig. 23). Wenn auf der Mittellinie der zugekehrten Cylinderfläche der zwischen der Cylinderaxe und der mittlern Elastizitätsaxe befindliche Winkel 45° oder mehr beträgt (wie in Fig. 23), so haben bei Anwendung eines Gypsplättchens die Farben überall den gleichen additionalen oder subtractionalen Charakter; vermindert er sich beträchtlich unter 45°, so kann die Farbe in der Mitte den entgegengesetzten Charakter annehmen. Am aufrechten Cylinder zeigen immer diejenigen zwei Quadranten, deren Diagonale gleich gerichtet ist wie der liegende Cylinder, dieselben Farben wie der Rand des letztern.

12) Die kleinste Elastizitätsaxe der zweiaxigen Elemente ist radial-gestellt (Fig. 24). Nehmen die Elemente auf der Mittellinie der zugekehrten Cylinder-

fläche eine Lage an, dass der Winkel der grössten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe 45° oder kleiner ist, so stimmt daselbst bei Anwendung eines Gypsplättchens die Farbe in ihrem Charakter mit dem Rande überein. Sie kann in den entgegengesetzten Charakter übergehen, wenn der genannte Winkel sich ziemlich über 45° erweitert (wie es in Fig. 24 der Fall ist). — Steht der Cylinder aufrecht, so haben immer diejenigen zwei Quadranten die gleiche Farbe wie der Rand des liegenden, deren Diagonale der Richtung nach mit der Axe des letztern zusammentrifft.

Alle aufgezählten Fälle stimmen darin mit einander überein, dass eine Elastizitätsaxe radial-gestellt ist. Ich will diejenigen Cylinder, in denen keine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt, nicht näher betrachten, da sie unter den Elementartheilen der Organismen, wie bereits angeführt, zu mangeln scheinen. Es mögen bloss die Merkmale erwähnt werden, wodurch sie sich von den aufgezählten Fällen unterscheiden. Wenn eine Elastizitätsaxe radial ist, so verhalten sich die beiden Hälften des liegenden Cylinders (rechts und links von der Mittellinie) bei allen Orientirungen ohne oder mit einem Gypsplättchen rücksichtlich der Vertheilung der Interferenzfarben symmetrisch; und das neutrale Kreuz des verticalen Cylinders ist orthogonal. Die Cylinder, in denen keine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt, bilden folgende 3 allgemeine Kategorien.

1) Zwei Elastizitätsaxen der zweiaxigen Elemente oder die optische Axe der einaxigen liegen, mit dem Radius schiefe Winkel bildend, in dem durch die Axe gehenden Längsschnitt. — Der aufrechte Cylinder zeigt ein orthogonales neutrales Kreuz. Auf dem liegenden Cylinder sind die Interferenzfarben unsymmetrisch angeordnet; eine Ausnahme macht die diagonale Stellung und bei Abwesenheit des Gypsplättchens auch die orthogonale; bei orthogonaler Stellung erscheint immer eine neutrale Mittellinie.

2) Zwei Elastizitätsaxen der zweiaxigen Elemente oder die optische Axe der einaxigen liegen, mit dem Radius schiefe Winkel bildend, in dem zur Axe senkrechten Querschnitt. — Der aufrechte Cylinder zeigt ein rechtwinkliges aber zu den Polarisationsprismen schiefgestelltes neutrales Kreuz. Auf dem liegenden Cylinder ist die Vertheilung der Interferenzfarben unter allen Umständen symmetrisch; bei orthogonaler Stellung erscheint derselbe überall neutral.

3. Bei zweiaxigen Elementen fallen wenigstens zwei Elastizitätsaxen, bei einaxigen die optische Axe weder in den durch die Cylinderaxe gehenden Längsschnitt noch in den zu dieser Axe senkrechten Querschnitt. — Das neutrale Kreuz des aufrechten Cylinders ist rechtwinklig, hat aber im Allgemeinen eine schiefe Lage zu den Polarisationsprismen. Der liegende Cylinder zeigt unsymmetrische Anordnung der Interferenzfarben; eine Ausnahme machen nur die diagonale und orthogonale Lage bei Abwesenheit des Gypsplättchens. Die Mittellinie erscheint bei unbestimmter Orientirung unvollkommen neutral d. h. nicht ganz dunkel ohne Gypsplättchen, und auf einem Gypsplättchen nicht mit der unveränderten Farbe desselben.

d. Horizontal-liegender Hohlcylinder.

Der hohle Cylinder oder der Cylindermantel verhält sich dem soliden Cylinder um so analoger, je kleiner seine Höhlung ist. Mit einer beträchtlichen Zunahme der Höhlung verändern sich auch die Erscheinungen bemerkbar. Ich will nur den extremen Fall näher betrachten, wenn der Mantel so dünn geworden ist, dass seine Elementarschichten in jedem Punkte als wirklich parallel (nicht als concentrisch) und somit die Wirkung der verschiedenen Krümmungshalbmesser als verschwindend betrachtet werden können. Es handelt sich also um einen Hohlcylinder, der bloss aus der Grenzschicht des soliden besteht. In aufrechter Stellung verhalten sich Kreuz und Quadranten vollkommen wie in dem Vollcylinder. Ist er liegend, so wirken seine beiden Ränder wie zwei stehende Plättchen, seine Mittellinie wie zwei horizontal übereinander liegende Plättchen und alle Längsstreifen zwischen Mitte und Rand wie Plättchenpaare, die eine verschiedene Neigung zeigen und dergestalt zu einander orientirt sind, dass das eine und andere Plättchen den gleichen Winkel mit der Horizontalebene bildet, dass aber das eine nach links, wenn das andere nach rechts, geneigt ist. Wenn von den Elastizitätsaxen der Elemente eine radial und eine andere mit der Cylinderaxe parallel läuft, so wirken die beiden Hälften des liegenden Hohlcylinders in jedem Punkte in gleicher Weise, da ihre Schwingungsebenen zusammenfallen und die Wirkungen addiren sich. Wenn aber eine Schwingungsebene radial-gestellt ist und von den beiden andern keine mit der Cylinderaxe parallel läuft, so ist der Effect eines jeden senkrecht durch den liegenden Hohlcylinder gehenden Strahls analog demjenigen, der von einem Plättchenpaar hervorgebracht wird, dessen homologe Schwingungsebenen einen spitzen Winkel bilden.

Wir haben für den liegenden in Diagonalstellung befindlichen Hohlcylinder folgende verschiedene Fälle, entsprechend den 12 Nummern für den Vollcylinder:

1) Die optische Axe der einaxigen Elemente fällt mit dem Radius zusammen. Das Verhalten ist ganz wie dasjenige des Vollcylinders (Pag. 105 Nro. 1), nur dass die Farben von dem Rande nach der Mitte rascher abnehmen.

2) Die optische Axe der einaxigen Elemente geht parallel der Cylinderaxe. Die Farbe unmittelbar am Rande des liegenden Hohlcylinders ist die nämliche wie beim Vollcylinder (Pag. 106 Nro. 2), die farbigen Streifen steigen aber von da nach der Mitte durch die Newtonsche Skale abwärts.

3) Die optische Axe der einaxigen Elemente liegt tangential und rechtwinklig zur Cylinderaxe. Wie beim liegenden Vollcylinder (Pag. 106 Nro. 3) ist der Rand schwarz (resp. mit der Grundfarbe des Gesichtsfeldes), aber die farbigen Streifen steigen nach der Mitte zu langsamer und nicht so hoch empor wie bei jenem.

4) Die mittlere Elastizitätsaxe der zweiaxigen Elemente fällt mit dem Radius zusammen; die der grössten oder kleinsten Elastizität ist parallel der Cylinderaxe. Die farbigen Streifen, welche die ganze Oberfläche bedecken, können wie beim liegenden soliden Cylinder (Pag. 106 Nro. 4) von dem Rande nach der Mitte hin durch die Newtonsche Skale emporsteigen; sie können aber auch durch dieselbe fallen. Ob das Eine oder Andere eintritt, hängt von dem Verhältniss der drei Elastizitätsaxen ab.

5) Von den Axen grösster und kleinster Elastizität der zweiaxigen Elemente ist die eine radial-gestellt; die andere geht parallel mit der Cylinderaxe. Der liegende Hohlcylinder ist wie der Vollcylinder (Pag. 106 Nro. 5) ganz mit farbigen Längsstreifen bedeckt; die Interferenzfarben sind aber immer am Rande am höchsten in der Skale und steigen nach der Mitte durch die Newtonsche Reihe hinunter.

6) Von den Axen grösster und kleinster Elastizität der zweiaxigen Elemente ist die eine radial, die andere liegt tangential und rechtwinklig zur Cylinderaxe. Der liegende Hohlcylinder ist wie der solide (Pag. 107 Nro. 6) mit farbigen Streifen bedeckt, die von zwei schwarzen (neutralen) Streifen unterbrochen werden; die Natur der erstern ist eine analoge wie bei jenem; nur nehmen die Farben von dem Rande aus nach den neutralen Streifen rascher ab, von diesen nach der Mitte hin langsamer zu. In den neutralen Streifen stehen die optischen Axen senkrecht. — Die Modificationen innerhalb dieses Typus sind die nämlichen wie beim soliden Cylinder (Pag. 108). Die Lage der neutralen Streifen weicht jedoch etwas ab. Wenn die Wandung des hohlen Cylinders unendlich dünn gedacht wird, so beträgt für den Fall, dass der Winkel zwischen der grössten Elastizitätsaxe und der optischen Axe 45° ausmacht, die Entfernung des neutralen Streifens vom Rande $^3/_{10}$ des Radius (genau $R - \sqrt{^1/_2}\, R$).

7—12. Die doppelbrechenden Elemente sind einaxig, die optische Axe ist rechtwinklig zum Radius und bildet mit der Cylinderaxe einen spitzen Winkel; oder die Elemente sind zweiaxig, die eine Elastizitätsaxe ist radial-gestellt und von den beiden andern geht keine parallel der Cylinderaxe. Je nach der Stellung dieser beiden andern Elastizitätsaxen oder nach der Stellung der optischen Axe bei einaxigen Elementen sind die Erscheinungen verschieden. Wenn kein Gypsplättchen im Polarisationsapparat liegt, so kann der liegende Hohlcylinder entweder ganz mit farbigen Längsstreifen bedeckt sein, oder die Farben können durch einen mittlern, oder durch zwei neben der Mitte befindliche schwarze (neutrale) Längsstreifen unterbrochen sein. Ein neutraler Mittelstreifen erscheint dann, wenn die beiden Elastizitätsaxen der zweiaxigen oder die optische Axe der einaxigen Elemente auf der Mittellinie mit der Cylinderaxe einen Winkel von 45° bilden; denn dann stehen die homologen Schwingungsebenen in der zugekehrten und in der abgekehrten Wandung des Hohlcylinders rechtwinklig zu einander und es heben sich somit ihre Wirkungen auf. Wenn der Winkel zwischen der optischen Axe der einaxigen Elemente und der Cylinderaxe, oder wenn bei zweiaxigen Elementen der Winkel zwischen der längern Axe der Elastizitätsellipse auf der Mittellinie des Hohlcylinders (m) und der längern Axe der Elastizitätsellipse am Seitenrande (r) grösser ist als 45° (wie in Fig. 22 und 24), so müssen die Axen der Elastizitätsellipsen irgendwo zwischen der Mitte und dem Rande mit der Cylinderaxe einen Winkel von 45° bilden, und es erscheint an derselben Stelle ein neutraler Streifen; dieser neutrale Streifen kann jeden beliebigen Abstand von der Mitte und dem Rande zeigen, und es entspricht ihm natürlich immer ein gleicher Streifen mit dem nämlichen Abstande zwischen der Mitte und dem gegenüberliegenden Rande. Weicht die optische Axe der einaxigen Elemente von der Cylinderaxe oder bei zweiaxigen Elementen die Richtung der Elastizitätsellipse auf der Mittellinie (m) von derjenigen am Rande (r) um weniger als 45° ab (wie in Fig. 21 und 23), so sind die Interferenzfarben nirgends von neutralen Streifen unterbrochen. — Da die optischen Axen an keiner Stelle in eine senkrechte Lage kommen, so haben sie an den eben erwähnten Erscheinungen keinen Antheil. Es versteht sich übrigens von selbst, dass die genannten neutralen (schwarzen) Streifen bei Anwendung eines Gypsplättchens die Grundfarbe desselben annehmen.

Die verschiedene Natur der einaxigen Elemente und die verschiedene Stellung der Elastizitätsaxen der zweiaxigen Elemente erlaubt noch folgende Modificationen:

7) Die einaxigen Elemente sind positiv; die optische Axe bildet mit dem Radius einen rechten und mit der Cylinderaxe einen schiefen Winkel (analog wie beim Vollcylinder Pag. 110, Nro. 7). Ist letzterer Winkel kleiner als 45°, so zeigt bei Anwendung eines Gypsplättchens die Mittellinie des liegenden Cylinders den gleichen (additionalen oder subtractionalen) Farbencharakter wie der Rand. Erreicht der Winkel 45°, so erscheint auf der Mitte ein neutraler Streifen. Ist der Winkel grösser als 45°, so treten zwei neutrale Streifen auf, welche symmetrisch rechts und links von der Mitte sich befinden, und die um so weiter von einander abstehen, je grösser jener Winkel ist. Zwischen den beiden neutralen Streifen haben die Farben den entgegengesetzten Charakter von denjenigen, die ausserhalb liegen.

8. Die einaxigen Elemente sind negativ; die optische Axe bildet mit dem Radius einen rechten und mit der Cylinderaxe einen schiefen Winkel (analog wie Nro. 8 auf Pag. 110). Die Farbenvertheilung ist genau wie bei Nro. 7; nur sind bei gleicher Orientirung hier überall die Additionsfarben durch Subtractionsfarben ersetzt und umgekehrt.

9) Die mittlere Elastizitätsaxe der zweiaxigen Elemente ist radial-gestellt; die Elastizität parallel der Cylinderaxe ist grösser als jene (analog wie beim Vollcylinder Pag. 110, Nro. 9). Ist auf der Mittellinie der Winkel zwischen der grössten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe kleiner als 45° (wie in Fig. 21), so hat bei Anwendung eines Gypsplättchens die Farbe in der Mitte den gleichen (additionalen oder subtractionalen) Charakter wie am Rande; ein grösserer Winkel bedingt eine Farbe von entgegengesetztem Charakter und zwischen den beiden entgegengesetzten Farben je einen neutralen Streifen in der Grundfarbe des Gypsplättchens. Die Ungleichheit des Winkels zwischen den Elastizitätsaxen und der Cylinderaxe, zwischen denselben und den optischen Axen und die positive oder negative Natur der Elemente, aus denen der Cylinder besteht, bedingen die nämlichen Modificationen der Farbenvertheilung wie beim Vollcylinder (Nro. 9 auf Pag. 110).

10) Die mittlere Elastizitätsaxe ist radial-gestellt; die Elastizität parallel der Cylinderaxe ist kleiner als jene (analog wie Nro. 10 auf Pag. 111). Wenn auf der Mittellinie der Winkel zwischen der längsten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe weniger als 45° beträgt (wie in Fig. 22), so hat die Farbe daselbst

den umgekehrten, bei grösserm Winkel den nämlichen Charakter (der Addition oder Subtraction) wie am Rande. — Der Winkel zwischen der längern Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe, zwischen derselben und der optischen Axe und die positive oder negative Natur der Elemente hat den gleichen Einfluss auf den Charakter der Farben wie beim Vollcylinder (Nro. 10 auf Pag. 111).

11) Die grösste Elastizitätsaxe ist radial-gestellt (analog wie Nro. 11 auf Pag. 111). Die Mittellinie gibt, wenn der Winkel zwischen der mittlern Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe kleiner ist als 45°, eine Farbe, die den entgegengesetzten Charakter vom Rande hat, und eine Farbe von dem gleichen (additionalen oder subtractionalen) Charakter, wenn der Winkel $> 45°$ (wie in Fig. 23).

12) Die kleinste Elastizitätsaxe ist radial-gestellt (analog wie Nro. 12 auf Pag. 111). Wenn auf der Mittellinie der Winkel zwischen der grössten Elastizitätsaxe und der Cylinderaxe weniger als 45° beträgt, so hat die Farbe den gleichen (additionalen oder subtractionalen) Charakter wie am Rande; ist derselbe grösser (wie in Fig. 24), den entgegengesetzten.

Was die Hohlcylinder betrifft, in denen keine Elastizitätsaxe radial-gestellt ist, so verhalten sich dieselben wie die Vollcylinder, und ich verweise auf die über die letztern gemachten Bemerkungen (Pag. 112). Die Merkmale, wodurch sie sich auszeichnen, sind also mit Ausnahme eines Falles die unsymmetrische Anordnung der Interferenzfarben auf dem liegenden, und mit Ausnahme eines andern Falles die schiefe Lage des neutralen Kreuzes auf dem stehenden Hohlcylinder.

e. Ellipsoidische und kugelige Körper.

Complizirter als die Cylinder verhalten sich die Ellipsoide und die Kugeln. Es versteht sich, dass es sich hier nicht sowohl um die Form der Körper als um die eigenthümliche Anordnung der Elemente, aus denen die Körper bestehen, handelt. Eine Kugel, die aus einem Crystall oder einem Cylinder geschliffen würde, verhielte sich natürlich gleich dem Crystall oder dem Cylinder. Ein Ellipsoid zeigt andere Erscheinungen, je nachdem die Stellungen der Elastizitätsaxen durch die Durchmesser oder durch die Oberfläche bestimmt werden. — Ich will drei Körper von regelmässigem Bau etwas näher betrachten; 1) eine Kugel, deren Durchmesser alle unter einander gleich sind, 2) eine Kugel, in welcher eine feste Richtung als Axe auftritt, 3) ein Rotationsellipsoid, in welchem die Oberfläche maassgebend ist.

In den beiden ersten dieser drei Körper sind die optisch wirksamen Elemente in Reihen gestellt, die wie Radien von dem Mittelpunkte nach allen Richtungen des Raumes divergiren. Sie bieten daher gewissermassen gleichzeitig die Erscheinungen dar, welche der liegende Cylinder beim Drehen um einen verticalen Durchmesser nach einander zur Anschauung bringt. Wir können eine solche Kugel in Gedanken durch Diametralschnitte in zahllose dünne Scheiben zerlegen, von denen jede, rücksichtlich der Molecularconstitution, im Allgemeinen sich wie eine Scheibe des querdurchschnittenen Cylinders verhält. Der Unterschied besteht darin, dass im liegenden Cylinder alle verticalstehenden Scheiben parallel laufen, in der Kugel dagegen wie Radien nach allen Richtungen einer Ebene ausstrahlen und daher zusammen allen den verschiedenen Stellungen entsprechen, den ein sich drehender Cylinder nach und nach durchläuft. Diese Analogie ist aber nur für einige Fälle vollkommen genau; meistens treten geringere oder grössere Modificationen ein.

α. Kugel mit gleichen Durchmessern.

Der erste der drei Körper ist eine Kugel, in welcher der innere Bau der äussern Gestalt entspricht, wo also alle Durchmesser einander gleichwerthig sind und keine bestimmte Richtung bevorzugt erscheint. Hier müssen die Elemente um jeden Radius und somit um jeden Punkt der Oberfläche mit ihren Elastizitätsaxen symmetrisch gestellt sein. Wenn, wie ich annehmen will, die eine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt, so ist also die Orientirung der beiden andern, welche in der Tangentialebene liegen, eine unbestimmte.

Diese Bedingung ist gleichgültig für den Fall, dass die Elemente einaxig und mit ihrer optischen Axe radial-gestellt sind. Eine solche Kugel verhält sich genau wie der liegende Cylinder, der um einen verticalen Durchmesser gedreht wird (Nro. 1 auf Pag. 105). Sie zeigt in jeder Stellung ein orthogonales, vollkommen neutrales (d. h. schwarzes oder von der unveränderten Interferenzfarbe des Gypsplättchens erhelltes) Kreuz; und der optische Effect ist auf jedem Punkt der zugekehrten Oberfläche der nämliche, wie auf einem analogen Punkte des Cylinders mit entsprechender Orientirung zu den Polarisationsprismen.

In allen übrigen Fällen, die den verschiedenen Typen des Cylinders (Nr. 2 – 12 auf Pag. 106 – 111) entsprechen, sind die beiden in der Tangentialebene liegenden Elastizitätsaxen ungleich. Hier sind im Allgemeinen zunächst wieder zwei Möglichkeiten denkbar. Entweder stimmen die Elemente, die dem gleichen Radius angehören, rücksichtlich der Orientirung ihrer Schwingungsebenen unter einander überein; oder sie weichen, wie die Radien selbst, nach allen Richtungen von einander ab. Ob die eine oder die andere dieser beiden Möglichkeiten realisirt sei, bedingt indess keinen bemerkbaren Unterschied in den optischen Erscheinungen, unter der Voraussetzung, dass die Elemente im Verhältniss zur Kugel unendlich klein sind. Nur der senkrecht stehende Radius verhält sich ungleich; im erstern Falle nämlich muss an demselben die volle Wirkung der beiden tangential liegenden Elastizitätsaxen zur Geltung kommen; im zweiten Falle dagegen heben sich die Effecte der nach allen Seiten orientirten Elemente gegenseitig auf. Da aber der vertical stehende Radius nur einem Punkt in der Projection entspricht, so entgeht sein Verhalten der Beobachtung.

Alle andern Punkte der zugekehrten Oberfläche entsprechen senkrechten Linien, die durch zahllose Radien der Kugel gehen; und wir können daher annehmen, dass in beiden vorhin als möglich angenommenen Fällen die zwei tangentialen Elastizitätsaxen auf jeder verticalen Linie, da sie nach allen Richtungen gestellt sind, mit einem mittlern Werth gegenüber der radialen Elastizitätsaxe sich geltend machen. Die Nothwendigkeit hiervon ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Die optische Wirksamkeit eines Punktes der Oberfläche hängt von den Intensitäten aller einzelnen daselbst austretenden homogenen Strahlen ab, und diese Intensitäten werden durch den Phasenunterschied bedingt, den sie eben erlangt haben. Der ganze Phasenunterschied ist aber die Summe der Differenzen, den alle einzelnen in der Richtung des Strahls hintereinander liegenden Elemente geben. Der Effect jedes einzelnen Elements wird durch die Stellung des Elastizitätsellipsoids normirt. In allen Elementen ist die radiale Elastizitätsaxe die nämliche, die beiden tangentialen kehren sich abwechselnd nach allen Seiten, so dass die Phasendifferenz, welche der Strahl in dem einzelnen Element erlangt, bald grösser bald kleiner ist, als wenn die beiden tangential-gestellten Elastizitätsaxen einander gleich wären und einem mittlern Werthe entsprächen. Diess ist um so mehr der Fall, als wegen der Kleinheit der Elemente schon auf geringe Distanzen die verschiedenen Orientirungen sich realisiren und daher jedes Plus über den Mittelwerth des Phasenunterschiedes durch ein Minus compensirt wird.

Aus dieser Thatsache ist der Schluss zu ziehen, dass die Gesammtwirkung einer solchen Kugel die nämliche ist, als ob sie aus einaxigen Elementen mit radial-gestellter optischer Axe bestände. Es muss zwar dabei berücksichtigt werden, dass mit der wechselnden Orientirung der tangentialen Elastizitätsaxen auch die Richtung der Schwingungsebenen sich von Element zu Element verändert, und dass der eintretende, so wie der die Kugel auf irgend einem Punkte verlassende Strahl nach jeder Richtung schwingen kann, was bei einer aus einaxigen, mit der optischen Axe radial-gestellten Elementen bestehenden Kugel nicht der Fall ist, indem hier die Schwingungsebenen ohne Ausnahme mit den Radien und Tangenten der kreisförmigen Projection parallel sind.

Was zuerst den Umstand betrifft, dass die Strahlen beim Eintritt und beim Austritt aus der Kugel keine bestimmte Schwingungsrichtung einhalten, so hat derselbe keinen Einfluss auf die optischen Erscheinungen Denn es ist ja nur das erste und letzte Element, welche diese Richtung bedingen; und da sie unendlich klein angenommen wurden, so ist auch die Modification, die sie im Phasenunterschied der beiden polarisirten Componenten verursachen, unmerklich gering. Sie spielen eigentlich keine andere Rolle, als dass sie die Strahlen ohne merkliche Phasenänderung auf ein anderes System von rechtwinkligen Schwingungsebenen übertragen, was natürlich auf die schliessliche Interferenz im Analysator keinen Einfluss ausübt.

Es handelt sich ferner darum, von welcher Wirkung der andere Umstand sei, dass die Schwingungsrichtungen fortwährend im Innern der Kugel wechseln, indem sich dabei jede so oft wiederholt, dass sie eine bemerkbare Summe bildet. Die frühern Untersuchungen haben ergeben, dass zwei gleiche Körper, deren Schwingungsebenen nicht zusammenfallen, sich immer anders verhalten als ein einfacher Körper (Pag. 81, 90). Die Frage ist nun, welche Modificationen dadurch hervorgebracht werden, dass die Schwingungsebenen nicht einmal, sondern unzählige Male und nicht nur nach zwei, sondern nach allen möglichen Seiten wechseln.

Die Wirkung, welche der fortwährende Wechsel der Schwingungsebenen erzeugt, lässt sich am deutlichsten in dem denkbar einfachsten Falle nachweisen, wo je die zweiten Elemente wieder gleich orientirt sind, so dass also einerseits die gerade-, anderseits die ungerade-numerirten mit einander übereinstimmen. Wenn zwei gleiche Körper mit orthogonal-gestellter Schwingungsmediane auf einem Gypsplättchen im Polarisationsmicroscop liegen, so geben sie, je nachdem sie sich in der Consecutiv- oder in der Alternativstellung befinden, ungleiche Interferenzfarben; die letztern entfernen sich in entgegengesetzter Richtung gleichweit von dem Grundton des Gypsplättchens und können als Additions- und Subtractionsfarbe bezeichnet werden (Pag. 94, 98). Denken wir uns nun jeden der beiden Körper in unendlich viele Schichten gespalten, und die Schichten des einen und andern ohne Veränderung der ursprünglichen Orientirung so übereinander gelegt, dass diejenigen mit ungerader Nummer und ebenso diejenigen mit gerader Nummer je ein System mit gleicher Schwingungsrichtung darstellen, und dass die beiden Systeme mit ihrer Mediane orthogonal-gestellt sind. Es ist klar, dass ein solcher Schichtensatz weder die Additions- noch die Subtractionsfarbe zeigen kann, welche die beiden unveränderten Körper darbieten, je nachdem sie in die Consecutiv- oder Alternativstellung gebracht wurden. Denn da die Schwingungsrichtung in dem Satz fortwährend wechselt, so besteht eine Richtungsverschiedenheit bloss für den ein- und austretenden Strahl, und diese kann durch Wegnahme einer der unendlich dünnen Schichten ohne bemerkbare Wirkung verändert werden. Da nun durch einen solchen Schichtensatz weder eine Additions- noch eine Subtractionsfarbe hervorgebracht wird, so muss derselbe die Grundfarbe des Gypsplättchens ohne Modification durchlassen.[1] Daraus folgt, dass er ohne Gypsplättchen in der nämlichen orthogonalen Lage entweder schwarz oder weiss (nicht aber gefärbt) erscheinen muss. Ob das Eine oder das Andere der Fall sei, ergibt sich aus den früher abgeleiteten Intensitätsformeln für einen und zwei Körper.

Wenn ein Satz unendlich dünner Schichten von der angegebenen Beschaffenheit allein (ohne Gypsplättchen) im Polarisationsapparat liegt, so ist die Intensität eines vom untern Prisma kommenden Lichtstrahls, der durch die erste Schicht

---

(1) Rücksichtlich dieser Erscheinungen kommt in Betracht, ob die symmetrischen Verhältnisse bezüglich der fixen Schwingungsrichtungen des Polarisationsinstruments vollkommen oder unvollkommen erfüllt sind. Zwei gleiche Körper ohne Gypsplättchen zeigen sowohl in der diagonalen als in der orthogonalen Stellung eine vollkommene Symmetrie zu den Ebenen der beiden Polarisationsprismen, und es kann daher ohne die Wirkung zu ändern der untere mit dem obern vertauscht werden. Ein Körperpaar, welches in diagonaler Stellung auf einem Gypsplättchen sich befindet, verhält sich ebenfalls vollkommen symmetrisch zu den Schwingungsebenen des letztern und zu denen der Polarisationsprismen; und auch hier ist es gleichgültig, welcher Körper oben oder unten ist. Dagegen zeigt ein Körperpaar in orthogonaler Stellung nur eine unvollkommene Symmetrie rücksichtlich der beiden Elastizitätsaxen des Gypsplättchens; entweder ist es der untere oder der obere Körper, dessen Schwingungsebenen den homologen Ebenen des Gypsplättchens genähert sind, und dem entsprechend gibt das Paar bald eine Additions-, bald eine Subtractionsfarbe. Denkt man sich nun aber jeden der beiden Körper in seine Molecularschichten zerlegt und diejenigen des einen und des andern alternirend übereinander geschichtet, wie im Texte angegeben ist, so verschwindet aller Mangel an Symmetrie und mit ihm nothwendig auch seine Folgen.

hindurchgegangen ist, sofern man ihn auf die Ebenen des Analysators überträgt, unendlich gering. Nachdem derselbe auch die zweite Schicht durchsetzt hat, ist seine Intensität im Analysator noch geringer.[1] Dieselbe kann daher auch in allen folgenden Schichten bloss abnehmen, und es muss der ganze Schichtensatz bei der vorausgesetzten orthogonalen Stellung schwarz erscheinen.

Was eben weitläufiger für die orthogonalen Stellungen bewiesen wurde, das gilt auch für alle andern. Denn wenn zwei gleiche Körper auf einem Gypsplättchen im Polarisationsapparat sich befinden, so kann man im Allgemeinen dieselben in ihrer Lage nicht vertauschen, ohne die Farbe zu ändern. Nur in den diagonalen und in denjenigen Stellungen, in denen eine Schwingungsebene mit einer Ebene des Gypsplättchens oder der Polarisationsprismen zusammenfällt, ist es gleichgültig, welcher Körper oben und welcher unten sei. In allen übrigen erhält man zwei verschiedene Farben, je nachdem der eine oder der andere Körper sich unten befindet. Würde man auch hier einen Satz von alternirenden Schichten anwenden, in der Art, dass diejenigen mit ungerader Nummer dem untern, die mit gerader dem obern Körper entsprächen, so müsste die Farbe eine mittlere sein. Da unendlich dünne Schichten zwischen den beiden Schwingungslagen wechseln, so haben beide einen gleichen Einfluss auf den Phasenunterschied der schliesslich aus dem Satze austretenden beiden Componenten, und der ganze Satz muss sich verhalten wie ein einfacher Körper, der diesen gleichen Phasenunterschied erzeugt.

Wie ein Satz von Schichten, die alternirend nach zwei Schwingungslagen orientirt sind, muss sich auch ein Satz verhalten, in welchem die Orientirung nach allen möglichen Seiten abwechselt, vorausgesetzt dass die Schichten unendlich dünn sind und dass somit durch den unendlich oft wiederholten Wechsel eine vollkommene Symmetrie zwischen den verschiedenen Schwingungsrichtungen hergestellt wird. Diese Bedingungen sind aber in der Kugel, in welcher kein Durchmesser als Axe bevorzugt ist, erfüllt. Sie wird dessnahen optisch immer so

---

(1) Die Intensität des vom Polarisator kommenden Strahls, nachdem derselbe durch die erste Schicht hindurchgegangen, ist (Pag. 32)

$$J_1^2 = 2\,\mathrm{Sin}^2 \varepsilon\,\mathrm{Cos}^2 \varepsilon (1 - \mathrm{Cos}\,\delta).$$

Bei orthogonaler Stellung des Schichtensatzes ist $\varepsilon = 90^\circ - \frac{1}{2}\eta$ oder $\varepsilon = -\frac{1}{2}\eta$, wenn durch η der Winkel zwischen den homologen Schwingungsebenen bezeichnet wird. Wir haben also

$$J_1^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 \eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta).$$

Der nämliche Strahl hat, nachdem er auch die zweite Schicht durchsetzt hat, die Intensität (Pag. 46)

$$J_2^2 = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\eta\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta) - \mathrm{Cos}^2 \eta\,\mathrm{Sin}^2 \eta\,\mathrm{Sin}^2 \delta.$$

Da die einzelne Schicht unendlich dünn angenommen wurde, so ist auch δ unendlich klein, und es kann daher für den Sinus der Bogen, also δ für Sinus δ gesetzt werden. Man hat somit $1 - \mathrm{Cos}\,\delta = 2\,\mathrm{Sin}^2 \frac{\delta}{2} = 2\,\frac{\delta^2}{4} = \frac{1}{2}\delta^2$; und ferner $\mathrm{Sin}^2 \delta = \delta^2 = 2\,(1 - \mathrm{Cos}\,\delta)$. Dadurch wird

$$J_2^2 = \left[\tfrac{1}{2}\,\mathrm{Sin}^2 2\eta - 2\,\mathrm{Cos}^2 \eta\,\mathrm{Sin}^2 \eta\right](1 - \mathrm{Cos}\,\delta) = 0.$$

Die Lichtintensität, die der zweiten Schicht entspricht, ist also für alle homogenen Strahlen Null oder jedenfalls geringer als die der ersten Schicht.

wirken, als ob sie aus einaxigen Elementen mit radial-gestellter optischer Axe bestände. Sie wird ein orthogonales neutrales Kreuz und auf einem Gypsplättchen zwei Additions- und zwei Subtractionsquadranten zeigen. Es ist selbstverständlich, dass eine solche Kugel unter einer bestimmten Bedingung sich wie ein einfachbrechender Körper verhält, wenn sie nämlich aus zweiaxigen Elementen mit radial-gestellter mittlerer Elastizitätsaxe besteht, und wenn der Mittelwerth, mit welchem die beiden tangential-gestellten Elastizitätsaxen wirksam werden, jener mittlern Axe gleich ist.

Ich habe angenommen, dass eine der Elastizitätsaxen mit dem Kugelradius zusammenfalle. Eine andere Möglichkeit wäre die, dass die Elastizitätsaxen mit demselben schiefe Winkel bildeten, und zwar so, dass um jeden Radius diese Winkel nach allen Seiten gekehrt wären. Der Effect der ganzen Kugel wird der nämliche sein, wie bei radialer Stellung einer Elastizitätsaxe; sie wird sich so verhalten, als ob sie aus einaxigen Elementen mit radial-gerichteter optischer Axe bestände.

β. Kugel mit einer Axe.

Der zweite Körper ist eine Kugel, in welcher der innere Bau nicht genau der äussern Form entspricht, indem ein Durchmesser von allen übrigen sich unterscheidet und als Axe ausgebildet ist. Für diesen Typus, welchen man als Rotationskugel unterscheiden kann, muss vorausgesetzt werden, dass alle Meridianschnitte (d. h. die durch die Axe gehenden Diametralschnitte) identisch seien, dass alle Durchmesser eines Meridianschnittes mit einander übereinstimmen und dass alle Elemente, die auf einem Radius hinter einander liegen, sich gleich verhalten. Damit ist zugleich ausgesprochen, dass die Elastizitätsaxen nach den Radien und nach der Axe orientirt sind; und zwar soll, wie ich zuerst annehmen will, die eine Axe mit dem Radius zusammenfallen, die andern beiden in einer Tangentialebene liegen.

Wenn die Rotationskugel aus optisch-einaxigen Elementen besteht, deren optische Axen radial-gestellt sind, so verhält sie sich unter allen Umständen wie eine Kugel mit gleichen Durchmessern und ohne Axe (Pag. 117) und wie ein liegender Cylinder (Nro. 1 auf Pag 105), der um einen verticalen Durchmesser gedreht wird. Sie zeigt, ihre Axe mag in einer beliebigen Lage zu den Schwingungsebenen der Polarisationsprismen und zur Horizontalebene sich befinden, ein orthogonales neutrales Kreuz. Bei Anwendung eines Gypsplättchens sind zwei Quadranten mit Additions-, zwei mit Subtractionsfarben versehen. Jeder Punkt der Oberfläche bietet genau die gleichen Erscheinungen dar, wie ein analoger Punkt des liegenden Cylinders.

In allen übrigen möglichen Fällen (welche für den Cylinder unter Nr. 2—12 auf Pag. 106—111 aufgeführt sind) sind die beiden in der Tangentialebene liegenden Elastizitätsaxen von ungleicher Grösse. Da dieselben nach den Meridianschnitten orientirt sind, so verhalten sich alle übrigen Diametralschnitte ungleich, und die Kugel zeigt ungleiche optische Erscheinungen, je nach der Neigung ihrer Axe zur Horizontalebene und zu den Schwingungsebenen der Polarisationsprismen.

Ich will nur zwei Axenstellungen, die verticale und die horizontale, berücksichtigen.

Wenn die Axe der Kugel senkrecht steht, so sind natürlich alle verticalen Diametralschnitte als Meridianschnitte einander gleich, und die Erscheinungen verändern sich nicht, wenn man die Kugel um ihre Axe dreht. Dabei ist zu bemerken, dass die Elemente, welche sich an den Polen und in der Axe befinden, allen Meridianschnitten zugleich angehören. Da jeder dieser letztern eine andere Orientirung verlangt, so muss die Orientirung der genannten Elemente eine unbestimmte sein, und die optischen Erscheinungen auf der Mitte der Kugel werden, insofern sie wegen ihres engbegrenzten Raumes überhaupt sichtbar sind, die Mitte halten zwischen denen aller hier zusammentreffenden Radien.

Liegt die Axe der Kugel horizontal, so sind alle verticalen Diametralschnitte ungleich; und beim Drehen um den verticalen Durchmesser ändern sich daher die Erscheinungen stetig. Wenn man die kreisförmige Projection der Oberfläche in schmale durch den Mittelpunkt gehende Zonen (Diametralzonen) zerlegt, so sind zwei derselben, die sich rechtwinklig kreuzen, vor den übrigen ausgezeichnet. Die eine verbindet die beiden Pole und kann als Meridianzone bezeichnet werden; die andere ist die Aequatorialzone. Alle übrigen Diametralzonen stufen sich allmälig ab, indem sie den Uebergang von der Meridian- in die Aequatorialzone vermitteln. Jede derselben besteht übrigens, wie sich von selbst versteht, aus zwei symmetrischen Hälften

Die Rotationskugeln mit ungleichen tangentialen Elastizitätsaxen gehören im Allgemeinen zwei Kategorien an. In der ersten fällt die eine dieser Elastizitätsaxen mit dem Meridiankreis, die andere mit einem Parallelkreis zusammen; in der zweiten bilden sie mit diesen Kreisen schiefe Winkel. Eine Kugel der ersten Kategorie (entsprechend den Cylindern Nro. 2 – 6, Pag. 106—107) zeigt bei vertical-stehender Axe die nämlichen Erscheinungen wie ein aus gleichen Elementen bestehender liegender Cylinder, den man um einen senkrechten Durchmesser dreht. Ein orthogonales neutrales Kreuz trennt 4 Quadranten, welche auf einem Gypsplättchen abwechselnd Additions- und Subtractionsfarben darbieten. Bei horizontaler Axenlage tritt nur dann ein vollkommen neutrales Kreuz auf, wenn Aequatorial- und Meridianzone mit den Schwingungsebenen der beiden Polarisationsprismen zusammenfallen; denn nur in den Diametralschnitten, die diesen zwei Zonen entsprechen, stimmen die Schwingungsrichtungen aller Radien mit einander überein. In allen andern senkrechten Diametralschnitten weichen die Schwingungsrichtungen der einzelnen Radien von einander ab; und desswegen gibt es für diese Diametralzonen keine Orientirung, in welcher sie ganz neutral, d. h. ohne Gypsplättchen ganz dunkel und bei Anwendung eines Gypsplättchens von der unveränderten Farbe des letztern erleuchtet sind. Dreht man eine solche Kugel um ihren verticalen Durchmesser, so gelangt sie in eine Lage, in welcher ein vollkommen neutrales Kreuz sichtbar wird; und bei fortgesetztem Drehen wiederholt sich diess immer nach 90 Graden. In allen intermediären Stellungen ist das orthogonale Kreuz zwar ebenfalls vorhanden, aber nicht vollkommen neutral; es zeigt sich nicht ganz dunkel ohne Gypsplättchen, und bei Anwesenheit des letztern wird die Farbe desselben etwas verändert. Von den Quadranten sind bei Anwendung eines Gypsplättchens unter allen Umständen je zwei mit Additions-, die beiden andern an den entsprechenden Stellen mit Subtractionsfarben bedeckt.

Wenn die tangential-gestellten Elastizitätsaxen mit den Meridian- und Parallelkreisen schiefe Winkel bilden (analog wie bei den Cylindern Nro. 7—12, Pag. 110—111), so verhält sich die Rotationskugel bei verticaler Axenlage wieder genau wie ein liegender aus analogen Elementen zusammengesetzter Cylinder, den man um einen senkrechten Durchmesser im Kreise herumbewegt. Es zeigt sich ein orthogonales nicht vollkommen neutrales Kreuz, da bei dem symmetrischen Bau der Kugel jedem Element der obern Hälfte, dessen Schwingungsebenen um einen gewissen Winkel von den Ebenen der Polarisationsprismen nach rechts abweichen, ein Element in der untern Hälfte entspricht, wo eine eben so grosse Abweichung nach links statt hat. Die Quadranten sind auf einem Gypsplättchen theils mit Additions- theils mit Subtractionsfarben bedeckt. — Bei horizontaler Axenlage bietet die Kugel ebenfalls immer ein orthogonales nicht vollkommen neutrales Kreuz dar, und die Quadranten zeigen auf einem Gypsplättchen theils Additions- theils Subtractionsfarben; aber der Ton des orthogonalen Kreuzes sowie der Quadranten wechselt fortwährend, wenn man die Kugel um ihren senkrechten Durchmesser dreht.

Ich trete nicht näher auf die verschiedenen Modificationen ein, welche für die Rotationskugel aus der ein- oder zweiaxigen Natur der Elemente und aus der verschiedenen Stellung der optischen und der Elastizitätsaxen hervorgehen. Sie sind, bei verticaler Axenstellung, die nämlichen, wie sie früher für den liegenden Cylinder erörtert wurden (Pag. 110—111), da die Meridianschnitte dem Querschnitt des Cylinders entsprechen. Die Interferenzfarben nehmen daher zwischen Peripherie und Centrum bald zu oder ab, bald abwechselnd ab und zu, und können im letztern Falle auch von einer neutralen Ringzone unterbrochen sein. Bei horizontaler Axenlage entspricht nur die Meridianzone dem liegenden Cylinder von gleicher Zusammensetzung. Die Aequatorialzone zeigt die Erscheinungen eines Cylinders, in welchem die beiden tangentialen Elastizitätsaxen vertauscht sind. Wenn z. B. bei radial-gestellter kleinster Elastizitätsaxe die Meridianzone sich wie ein Cylinder verhält, bei welchem die grösste Elastizitätsaxe mit der Cylinderaxe parallel läuft, so ist die Aequatorialzone einem solchen analog, in welchem die grösste Elastizitätsaxe mit der Cylinderaxe einen rechten Winkel bildet. Die Diametralzonen, aus denen ein Quadrant besteht, bilden, wie schon gesagt, die Uebergänge zwischen der Meridian- und der Aequatorialzone.

Die bisherige Betrachtung der Rotationskugel setzt die radiale Stellung einer Elastizitätsaxe voraus. Ich will nur wenige Bemerkungen betreffend diejenigen Kugeln beifügen, in denen keine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt. Dabei bleibt immer Bedingung, dass die Elemente desselben Radius gleichgestellt seien, dass der Aequatorialschnitt sich so verhalte, als ob der gleiche Radius im Kreise herum bewegt würde, und die Meridianschnitte so, als ob der Radius des Aequatorialschnittes jederseits so weit sich um den Mittelpunkt drehte, bis er mit der Axe zusammenfällt. Es bestehen im Allgemeinen drei Möglichkeiten, welche denen des Cylinders (Pag. 112) entsprechen:

1. Zwei Elastizitätsaxen der zweiaxigen Elemente oder die optische Axe der einaxigen liegen in der Ebene des Meridianschnittes. Die Kugel zeigt bei verticaler Axenstellung ein orthogonales neutrales Kreuz. Bei horizontaler Axenlage ist nur die dem Meridian entsprechende Diametralzone bei orthogonaler Richtung neutral; ein neutrales Kreuz tritt also bei keiner Orientirung auf; die 4 Quadranten zeigen im Allgemeinen sowohl ohne als mit einem Gypsplättchen ungleiche Vertheilung der Interferenzfarben.

2. Zwei Elastizitätsaxen der zweiaxigen Elemente oder die optische Axe der einaxigen liegen in der Ebene des Aequatorialschnittes. Bei verticaler Stellung der Kugelaxe zeigt sich ein unvollkommen neutrales (weder ganz dunkles noch von der unveränderten Farbe des Gypsplättchens erhelltes) rechtwinkliges Kreuz, welches zu den Schwingungsebenen der Polarisationsprismen schief-gestellt ist. Bei horizontaler Lage der Axe erscheint nur die dem Aequator entsprechende Diametralzone bei orthogonaler Richtung neutral; ein neutrales Kreuz mangelt auch hier, und die 4 Quadranten verhalten sich rücksichtlich des optischen Effects im Allgemeinen ebenfalls ungleich.

3. Bei zweiaxigen Elementen fallen wenigstens zwei Elastizitätsaxen, bei einaxigen die optische Axe ausser die Ebenen des Meridian- und des Aequatorialschnittes. Ein neutrales Kreuz oder eine neutrale Diametralzone erscheint bei keiner Orientirung. Wenn die Axe der Kugel senkrecht steht, so sind ohne Gypsplättchen die Interferenzfarben symmetrisch um den Mittelpunkt der kreisförmigen Projection vertheilt, so dass je zwei gegenüberliegende Radien sich gleich verhalten. Bei horizontaler Axenlage mangelt diese Symmetrie, und die 4 Quadraten zeigen mit oder ohne Gypsplättchen ungleiche Vertheilung der Interferenzfarben.

γ. Rotationsellipsoid.

Der dritte Körper ist ein Rotationsellipsoid, in welchem die Elastizitätsaxen nicht nach den Durchmessern sondern nach der Oberfläche orientirt sind, indem zwei derselben in einer mit der Tangentialebene parallelen Ebene liegen und mit den Meridianebenen bestimmte Winkel bilden. Hier ruft unter allen Umständen, wenn man das Rotationsellipsoid in alle möglichen Neigungen zur Horizontalebene bringt, jede Lage andere Erscheinungen hervor. Die Extreme geben uns die verticale und die horizontale Axenstellung. Bei vertical stehender Axe verhält sich das Rotationsellipsoid analog wie die Rotationskugel und wie der liegende Cylinder, der um einen verticalen Durchmesser gedreht wird. Es zeigt immer ein orthogonales Kreuz, welches vollkommen neutral ist, wenn zwei Elastizitätsaxen in der Meridianebene liegen, unvollkommen neutral, wenn diess nicht der Fall ist. Die Interferenzfarben in den Quadranten haben im Allgemeinen den gleichen Charakter wie beim Cylinder und bei der Rotationskugel, aber sind dem Grade nach verschieden (einer höhern oder tiefern Nummer der Skale entsprechend), weil die durch die verticalen Sehnen ausgedrückten Weglängen im Ellipsoid andere sind.

Bei horizontaler Axenlage zeigt das Rotationsellipsoid nur dann ein orthogonales Kreuz, wenn seine Axe mit einer Ebene der Polarisationsprismen zusammenfällt. In allen andern Stellungen treffen die neutralen Linien nicht mehr im Centrum zusammen, weil sie von der Peripherie rechtwinklig abgehen. Dieselben sind in jeder Hälfte des Ellipsoids im Allgemeinen ungleich und unsymmetrisch; sie reichen bis zur langen Mittellinie desselben, ohne sich hier zu berühren. Wird das Ellipsoid allmälig aus der orthogonalen Stellung gedreht, so nähern sich die auf der Mittellinie liegenden Enden der neutralen Linien, bis sie in der diagonalen Stellung zusammentreffen und nun bei gleicher Länge und symmetrischer Lage ein rechtwinkliges Knie bilden. — Die neutralen Linien sind bloss in dem Falle vollkommen neutral, wenn eine der tangentialen Elastizitätsaxen in der Meridianebene sich befindet und wenn zugleich die Axe des Ellipsoids orthogonal gestellt ist. Weicht letztere von dieser Lage ab, oder fallen die tangentialen Elastizitätsaxen ausser die Meridianebene, so sind die schiefen neutralen Linien und das orthogonale Kreuz ohne Gypsplättchen nie vollkommen verdunkelt und verändern auf einem Gypsplättchen die Farbe des letztern etwas. Von allen Diametralzonen verhalten sich nur die Meridian- und die Aequatorialzone analog wie in der Rotationskugel und im liegenden Cylinder, wobei jedoch die gleichen Differenzen im Grade der Interferenzfarben sich kund geben wie bei verticaler Axenstellung. Die übrigen Diametralzonen bilden die Uebergänge zwischen den beiden genannten. Die Quadranten sind bei Anwendung eines Gypsplättchens theils von Additions- theils von Subtractionsfarben erhellt.

Die eben gemachten Bemerkungen beziehen sich auf die Fälle, wo in dem Rotationsellipsoid eine Elastizitätsaxe senkrecht zur Oberfläche steht. Wenn diess nicht der Fall ist, und wenn somit auch von den Elastizitätsaxen entweder nur eine oder gar keine in einer tangentialen Ebene liegt, so werden die Erscheinungen noch unregelmässiger. Ohne näher auf dieselben einzutreten, bemerke ich bloss, dass bei verticaler Axenlage alle Diametralzonen und bei horizontaler die Aequatorial- und die Meridianzone ähnliche Farbenerscheinungen wie die analog gebaute Rotationskugel zeigen (Pag. 124).

δ. Hohle Kugeln und Ellipsoide.

Wenn die drei erwähnten kugeligen und ellipsoidischen Körper hohl werden, so verhalten sie sich zu den entsprechenden soliden Formen analog, wie der liegende Hohlcylinder zum Vollcylinder (Pag. 113). Die Aehnlichkeit mit der vollen Form ist natürlich auch hier um so grösser, je kleiner die Höhlung ist; und die Abweichungen werden um so bemerkbarer, je mehr sich die Wandung verdünnt, je mehr sie sich also demjenigen Zustande nähert, wo die Elementarschichten als parallel und die Verschiedenheiten im Effect der ungleichen Krümmungsradien als unendlich klein angenommen werden können.

Ueber die Hohlkugel mit gleichen Durchmessern ist wenig zu bemerken. Sie unterscheidet sich von der Vollkugel bloss darin, dass die Interferenzfarben von dem Rande nach der Mitte rascher fallen.

Die Rotationshohlkugel (in welcher eine Richtung als Axe ausgebildet, und wo die Elastizitätsaxen nach dieser Rotationsaxe, resp. nach den Meridiankreisen orientirt sind) verhält sich bei aufrechter Axenstellung genau wie der liegende Hohlcylinder von entsprechender Structur, der um einen verticalen Durchmesser gedreht wird, wobei wieder (wie bei den soliden Körpern) zu beachten ist, dass der Diametralschnitt der Rotationskugel dem Querschnitte des Cylinders entspricht, und dass bei analogem Bau in diesen beiden Schnitten die Richtung der Elastizitätsaxen übereinstimmen muss. Die diagonale Diametralzone zeigt demnach die gleichen Farben wie der in Diagonalstellung befindliche Hohlcylinder (vgl. Nr. 1—12 auf Pag. 113—116 für die Fälle, wo eine Elastizitätsaxe radial-gestellt ist). Eine Abweichung kann nur in der Mitte auftreten, weil dieselbe als Centrum der Projection aus dem früher (Pag. 122) erwähnten Grunde eine unbestimmte Orientirung der Elastizitätsaxen bedingt. Der neutralen Mittellinie des liegenden Hohlcylinders entspricht zwar immer ein neutrales Centrum auf der Projection der Hohlkugel. Ist aber jene durch eine bestimmte Interferenzfarbe erhellt, so zeigt dieses eine andere Farbe und zwar eine solche, wie sie aus der Vereinigung aller hier zusammentreffenden Diametralzonen hervorgeht.

Wenn die Axe der Rotationshohlkugel horizontal liegt, so sind zwei rechtwinklig sich kreuzende Diametralzonen ausgezeichnet, die Meridian- und die Aequatorialzone, während alle übrigen die allmäligen Uebergänge zwischen diesen beiden in den Quadranten bilden. Die Meridianzone verhält sich ganz so wie jede Diametralzone der Hohlkugel mit aufrechtstehender Axe; die Aequatorialzone aber verhält sich so, als ob das Elastizitätsellipsoid der Meridianzone in der tangentialen Ebene um einen rechten Winkel gedreht wäre. Wenn diese beiden Diametralzonen sich in Diagonalstellung befinden, so zeigen sie genau die Erscheinungen wie Querzonen zweier entsprechend gebauter Hohlcylinder (Nr. 1—12 auf Pag. 113—116, wenn eine Elastizitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt), wobei auch der Kreuzungspunkt in der Mitte keine Ausnahme macht. Dabei versteht sich aber von selbst, dass bei Anwendung eines Gypsplättchens die eine der beiden Zonen in der Additionslage, wenn die andere in der Subtractionslage, sich befindet.

Ist keine Elastizitätsaxe radial-gestellt, so zeichnet sich die Rotationshohlkugel wie die Vollkugel (vgl. Pag. 123—124) vorzüglich durch die unsymmetrische Vertheilung der Interferenzfarben in den gegenüber liegenden Quadranten aus.

Das hohle Rotationsellipsoid verhält sich zur hohlen Rotationskugel wie das solide Ellipsoid zur Vollkugel. Bei verticaler Axenstellung bietet es demnach eine ähnliche Anordnung der Interferenzfarben dar wie die Hohlkugel, und bei horizontaler Axenlage zeigen die Aequatorial- und die Meridianzone ebenfalls analoge Erscheinungen wie die gleichnamigen Zonen der Hohlkugel. Von der letztern unterscheidet es sich vorzüglich dadurch, dass bei wagrecht orientirter Axe die vollkommen oder unvollkommen neutralen Linien im Allgemeinen nicht zu einem rechtwinkligen Kreuz sich vereinigen.

(Schluss folgt.)

Untersuchungen über den Flechtenthallus

von

Dr. S. Schwendener.

II. Laub- und Gallertflechten.

Der folgende zweite Theil meiner „Untersuchungen über den Flechtenthallus" umfasst die sogenannten laub- und gallertartigen Flechten, sowie diejenigen krustenartigen, welche durch ihre beiderseitige Berindung sich ungezwungen an jene anschliessen. Die typischen Krustenflechten beabsichtige ich in einem dritten Theil abzuhandeln, in welchem dann zugleich einige Nachträge und allfällige Berichtigungen Platz finden werden.

Da die eingehende Charakteristik der einzelnen Gattungen, wie sie bei den mannigfachen Verschiedenheiten im innern Bau nothwendig war, einen Ueberblick über die allgemeineren anatomischen Verhältnisse erschwert, so hielt ich es für zweckmässig, eine kurze Darstellung der letzteren als Einleitung voraus zu schicken. Ich beschränke mich dabei auf die Hervorhebung derjenigen Thatsachen, welche für den Bau und Aufbau des Flechtenlagers von wesentlicher Bedeutung sind.

1. Die Thallusschichten.

Der Thallus der laubartigen Flechten ist wie der der strauchartigen allseitig umrindet, d. h. das Fasergeflecht, aus welchem derselbe besteht, ist zunächst der Oberfläche bis auf eine Tiefe von c. 10 — 50 Mik. und darüber interstitienlos. Eine Ausnahme hievon machen nur die beiden Gattungen Peltigera und Solorina, welche — wie Hagenia unter den strauchartigen — nur auf der obern Seite berindet sind.

Die Rindenschicht geht an den Rändern der Lappen ohne Unterbrechung von der einen Seite des Lagers zur andern über. Sie zeigt bald auf beiden Seiten ungefähr dieselbe Dicke und dasselbe Aussehen; bald ist sie auf der einen etwas stärker entwickelt, als auf der andern. Sehr häufig sind die oberflächlichen Zellen derselben durch Einlagerung eines Farbstoffes in die Membran gelblich oder braun gefärbt und veranlassen dadurch die bekannte Färbung der Unter- und zum Theil auch der Oberseite des Lagers. Bei letzterer sind ausserdem noch die körnigen Einlagerungen und unter Umständen auch die Gonimonschicht in Betracht zu ziehen.

Da es ein durchgreifendes Gesetz ist, dass der Aufbau des Flechtenthallus auf der Verästlung von Zellfäden beruht, so besteht selbstverständlich auch die

Rinde ohne Ausnahme aus verästelten Fasern. Diese Thatsache wird indess durch den anatomischen Charakter derselben nicht immer verrathen: das Gewebe erscheint im Habitus nur dann wirklich fibrös, wenn die Zellhöhlungen sehr klein und die Wandungen der Fasern beträchtlich verdickt sind, ein Umstand, welcher gerade bei den laubartigen Flechten verhältnissmässig selten vorkommt. Bei sehr vielen Gattungen sind im Gegentheil die Lumina stark erweitert und die Wandungen dünn oder nur unbedeutend verdickt, so dass das Fasergeflecht das Aussehen eines oft sehr regelmässigen Parenchyms erhält, so z. B. bei **Physcia parietina**, **Sticta**, **Peltigera**, **Endocarpon**, **Leptogium** u. a.

Der von der Rinde umschlossene Theil des Thallus oder das **Mark** ist in der Regel lockerfilzig und lufthaltig, nur bei den Collemaceen in Folge der gallertartigen Verdickung der Membranen interstitienlos. Bei der Mehrzahl der Gattungen erscheint es als ein unregelmässiges, wergartiges Geflecht vielfach verästelter Fasern, in welchem nur in seltenen Fällen solide Stränge oder solide Knäuel auftreten; bei einigen wenigen (**Heppia**, **Endopyrenium** u. a.) als ein lockeres, dünnwandiges Merenchym; bei den Collemaceen als eine von mehr oder minder feinen Kanälen durchzogene, gelatinöse Pulpa. Die Grenze zwischen Rinde und Mark ist gewöhnlich sehr scharf gezogen; doch kommen Fälle, in welchen namentlich zwischen den Gonidiengruppen ein allmähliger Uebergang stattfindet, keineswegs selten vor (z. B bei **Placodium**, **Endocarpon** u. a.)

Die **Gonidien** finden sich vorzugsweise, ja in den meisten Fällen ausschliesslich im obern Theile des Markes; sie bilden hier eine grüne Zone, welche sich unmittelbar an die Rindenschicht anschliesst und nach unten bald mehr, bald weniger in das Innere des Markes vorspringt. Spärliche Gruppen beobachtet man zuweilen auch im unteren Theile des Thallus, selbst in unmittelbarer Nähe der Rinde (z. B. bei **Placodium** (Taf. VIII Fig. 7), **Parm. aquila** u. a.) Eine gleichmässige Vertheilung der Gonidien auf die ganze Thallusdicke, oder wenigstens eine symmetrische mit Rücksicht auf unten und oben, charakterisirt die Collemaceen.

Die Lagerunterfläche ist bekanntlich sehr häufig mit sogenannten Haftfasern besetzt, welche den Thallus mit der Unterlage in Verbindung setzen. Bei **Anaptychia**, **Parmelia**, **Imbricaria** und **Physcia**, sowie ferner bei **Gyrophora** bestehen dieselben aus einem interstitienlosen Gewebe vorherrschend longitudinal verlaufender Fasern (sie verhalten sich genau wie die Wimpern von **Hagenia ciliaris**), bei den übrigen Gattungen dagegen aus einzelnen isolirten oder nur locker verbundenen Zellfäden, die aber nicht selten ein sehr üppiges Wachsthum zeigen und dann ein schwammiges Gewebe bilden, das in den systematischen Werken als **Hypothallus** beschrieben wird (z. B. bei **Pannaria plumbea**, **Endopyrenium** u. a.)

Die laubartigen Flechten stimmen also, wenn man von einzelnen Ausnahmen absieht, durch die allseitige Umrindung mit den strauchartigen überein; sie unterscheiden sich von denselben durch die einseitige Lagerung der Gonidien, das Vorkommen von Haftorganen auf der Lagerunterseite, überhaupt durch den mehr oder weniger ausgesprochenen Gegensatz zwischen unten und oben.

2. Die Wachsthumstypen.

Das Wachsthum des laubartigen Flechtenlagers in die Fläche beruht zum Theil auf der Neubildung von Gewebe am Rande (Marginalwachsthum) und anderen Theils auf der Ausdehnung der bereits angelegten Gewebspartien durch intercalare Wachsthumserscheinungen (intercalares Wachsthum). Beide Vorgänge lassen sich ihrerseits wieder auf folgende einfachere zurückführen: 1) das Scheitelwachsthum und die Verästlung der Fasern, 2) die Ausdehnung der Zellen und 3) die Theilung derselben durch Querwände; wobei indess zu bemerken ist, dass der zuletzt erwähnte Process vorzugsweise in der Rindenschicht und vielleicht auch im peripherischen Theil des Markes, nur selten dagegen im Innern des Thallus vorkommt*. Der Auf- und Ausbau des Flechtenthallus beruht demnach einzig und allein auf dem intercalaren und Scheitelwachsthum einzelner sich verästelnder Zellfäden.

Eine Verschiedenheit in der Wachsthumsweise kann sich daher nur dadurch geltend machen, dass der Faserverlauf bei den verschiedenen Gattungen (wie diess auch bei den strauchartigen Flechten der Fall war), grössere oder kleinere Abweichungen zeigt; dessenungeachtet dürfte es nicht ohne Interesse sein, die in dieser Beziehung vorkommenden Fälle etwas näher zu betrachten.

a) Scheitelwachsthum (Marginalwachsthum).

Es gibt nur einige wenige laubartige Flechten, bei welchen die Fasern der Rindenschicht in vorherrschend radialer Richtung, parallel mit der Oberfläche, verlaufen und in der Marginalregion in der nämlichen Richtung weiter wachsen. Und auch bei diesen wenigen, zu denen namentlich Parmelia aquila Ach., P. speciosa Wulff. und P. chrysophthalma zu rechnen sind, ist der Parallelismus der Fasern nie so ausgeprägt, wie bei Usnea, Bryopogon und Cornicularia unter den strauchartigen Flechten. Der Marginaltheil des Thallus besteht vielmehr aus einem mehr oder minder verworrenen Fasergeflecht, welches auf Durchschnitten so ziemlich wie bei Hagenia ciliaris aussieht und ungefähr in derselben Weise, wie diese letztere, fortvegetirt. —

Bei der Mehrzahl der Gattungen ist der Faserverlauf ein orthogonal-trajectorischer, d. h. die Fasern biegen nach oben und unten bogenförmig gegen die Oberfläche aus, so dass sie diese letztere unter annähernd rechten Winkeln treffen. Das Wachsthum findet in diesem Falle nach den nämlichen Gesetzen statt, welche bereits im ersten Theil in allgemeiner Weise entwickelt wurden; nur müssen die

---

(*) Sehr wahrscheinlich findet im Innern des Thallus eine Theilung der Zellen durch Querwände nur in den jüngern Verästlungen bis auf eine gewisse Entfernung von der Scheitelzelle statt, während die ältern Fasern sich bloss durch Streckung der Zellen verlängern, so dass das Maass dieser Streckung unter Umständen einen Anhaltspunkt zur Bestimmung des intercalaren Wachsthums gibt. — Es wäre auch möglich, wenn auch nicht wahrscheinlich, dass die Theilungsfähigkeit im Innern des Thallus nur auf die jedesmalige Scheitelzelle der Verästlungen beschränkt wäre. Die directe Beobachtung gab mir hierüber keinen Aufschluss.

orthogonalen Trajectorien, wie sich aus der Form des Lagers von selbst ergibt, nicht auf eine centrale Axe, sondern auf die Mittellinie radialer, senkrecht zur Oberfläche geführter Durchschnitte bezogen werden. (S. die Darstellung solcher Durchschnitte auf Taf. VIII Fig. 7 und Taf. X Fig. 9.) Nach der scharfen Grenze zu schliessen, welche in vielen Fällen schon in der Krümmung des Randes zwischen Rinde und Mark gezogen ist, scheint es mir wahrscheinlich, dass die Verästlung der Fasern gewöhnlich in höherem Grade stattfindet, als es der bogenförmige Verlauf derselben nothwendig erfordern würde, oder mit andern Worten: dass selbst das Marginalwachsthum grossentheils auf der Ausdehnung der Rinde in tangentialer Richtung beruht. — Bei den Gattungen mit parenchymatischer Rinde tritt der Faserverlauf natürlicher Weise nur dann deutlich hervor, wenn das Parenchym sich erst in einiger Entfernung vom Rande entwickelt, oder wenn wenigstens die successiven Zellen der nämlichen Faser sich von den nebeneinander liegenden verschiedener Fasern unterscheiden lassen. Es ist diess z. B. bei Endocarpon und Umbilicaria der Fall, während Parm. parietina und zum Theil auch Sticta höchstens durch die Richtung der Markfasern die der Rindenfasern verrathen. Besonders deutlich und ausgeprägt ist der in Rede stehende Faserverlauf bei einigen Arten von Placodium (z. B. P. cartilagineum VIII, 7).

Zuweilen fällt die Linie, von welcher aus die Markfasern nach oben und unten ausbiegen, nicht mit der Medianlinie der Durchschnitte zusammen, sondern ist mehr oder minder der Lagerunterfläche genähert, so dass der Thallus unsymmetrisch erscheint. Dazu kommt dann gewöhnlich noch die geringere Entwicklung der untern Rindenschicht, welche oft nur noch durch ein braun gefärbtes, ziemlich dichtfilziges, jedoch kaum mehr durchweg interstitienloses Gewebe angedeutet ist. Als Beispiele führe ich an: Placodium diffractum et concolor.

Endlich kommt auch der Fall vor, dass die Fasern im ganzen untern Theil des Thallus in radialer Richtung parallel der Oberfläche verlaufen, nach oben dagegen die nämlichen Bogenlinien beschreiben, wie in den beiden vorhergehenden Fällen. So verhalten sich z. B. die Gattungen Parmelia Kbr., Endopyrenium Fw. und Pannaria Del. (insbesondere P. plumbea Lightf.) Wie ein Blick auf die Figuren zeigt (VIII, 2; X, 6; XI, 1), geht in diesem Falle der vorherrschende Zug der Fasern mit der Krümmung des Randes parallel; nur der oberste Theil der letztern wird schiefwinklig getroffen. Als Hauptfactor des Marginalwachsthums ist daher offenbar die Verästlung der Fasern zu betrachten, indem die nach oben strebenden Enden der letztern durch directe Verlängerung bloss die Dickenzunahme bedingen.

Diese mit Rücksicht auf den Faserverlauf verschiedenen Typen sind übrigens keineswegs scharf voneinander abgegrenzt, sondern meist nur bei einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Repräsentanten deutlich ausgeprägt. Es gibt Uebergangsformen, von denen man kaum weiss, ob sie dem einen oder dem andern näher stehen.

b) Intercalares Wachsthum.

Die intercalaren Wachsthumserscheinungen bedingen die Ausdehnung des Thallus in die Fläche und Dicke; sie verursachen überdiess eine kleinere oder grössere Veränderung im Habitus des Gewebes, je nachdem die neu hinzukommenden Verästlungen ungefähr in der Richtung der früheren verlaufen oder sich quer zwischen dieselben einflechten. Man beobachtet in dieser Beziehung die nämlichen Abstufungen, wie sie bereits im ersten Theil bei verschiedenen strauchartigen Flechten erwähnt wurden (s. z. B. Cornicularia, Sphaerophorus). Ist die Rinde parenchymatisch, so ist es vorzugsweise die Grösse der Zellen und die Verdickung der Zellwandungen, welche die Physiognomie des Gewebes bestimmen.

Das Dickenwachsthum, welches sich unmittelbar aus der Vergleichung der Durchschnitte ergibt, ist in der Regel sehr unbeträchtlich; ja es gibt Gattungen, welche mit zunehmender Entfernung vom Rande fast gar nicht an Dicke zunehmen. Am stärksten ist es wohl bei Umbilicaria und Gyrophora, wo der centrale Theil des Thallus ungefähr die 2 – 3fache Dicke des marginalen besitzt. Die Dickenzunahme vertheilt sich übrigens nicht etwa gleichmässig auf Mark- und Rindenschicht, sondern kommt fast ausschliesslich der erstern zu, indem die letztere durchgehends ungefähr dieselbe Mächtigkeit zeigt.

Viel bedeutender ist die Ausdehnung in die Fläche. Wenn wir vorerst von der tangentialen Richtung absehen und bloss das intercalare Wachsthum in radialer Richtung in's Auge fassen, so ist das letztere stets ein Vielfaches des Marginalwachsthums; d. h. wenn zwei Punkte der Oberfläche unmittelbar innerhalb der Krümmung des Randes beispielsweise 1 Millim. voneinander abstehen, so erreicht dieser Abstand allmählig ein Vielfaches eines Millimeters. Zur genaueren Bestimmnng des Ausdehnungs - Coefficienten, welche indess nicht immer möglich ist, dienen folgende Anhaltspunkte: 1) die mit der Entfernung vom Rande wachsende Grösse der Cyphellen bei Sticta, 2) der radiale Durchmesser der Maschen des Adernetzes auf der Lagerunterfläche bei Peltigera, 3) die Wölbung oder Runzelung des Thallus zwischen den durch Haftfasern fixirten Punkten bei P. parietina etc., 4) die Grösse der Pusteln bei Umbilicaria pustulata, 5) die Länge der Markzellen bei allen Gattungen mit vorherrschend radialem Verlaufe der Markfasern. Die Resultate, die man aus den verschiedenen Werthen dieser 5 Veränderlichen ableitet, sind im Allgemeinen, soweit sie überhaupt vergleichbar sind, übereinstimmend. Als Ausdehnungs - Coefficient erhält man gewöhnlich eine Ziffer, welche 10 übersteigt.

Die tangentiale Ausdehnung ist der eben besprochenen entweder gleich, oder sie ist grösser oder kleiner. Im ersten Falle bildet der Thallus eine geschlossene Rosette, deren Lappen sich bloss berühren, aber nicht über einander greifen; oder wenn keine Lappenbildung stattfindet, eine ebene Fläche (Gyrophora). Im zweiten Falle erscheint er „dachziegelig-gelappt“, oder wenn er „einblätterig“ bleibt, radial gefaltet. Im dritten endlich berühren sich die Lappen nicht mehr (Thallus pinnatifido-laciniatus) oder es tritt, wenn die Lappenbildung unterbleibt, tangentiale Faltung ein.

Das intercalare Wachsthum ist in der Nähe des Randes am stärksten und sinkt in grösserer oder kleinerer Entfernung von demselben auf Null herunter; es ist in manchen Fällen fast nur auf eine verhältnissmässig schmale peripherische Zone beschränkt.

3. Das Absterben der obern Rinde und der Gonidien.

Bei sehr vielen Laub- und Krustenflechten (bei letzteren wahrscheinlich ohne Ausnahme) stirbt die Rinde, nachdem sie ein gewisses Alter erreicht hat, von aussen nach innen allmählig ab. Der abgestorbene Theil bleibt in der Regel als helle, oft beinahe homogene Masse auf der lebenskräftigen Rinde liegen, ist jedoch von dieser letzteren (namentlich nach Zusatz von Jod, in welchem er sich unter keinen Umständen färbt) deutlich abgegrenzt. In andern Fällen dagegen wird er durch die atmosphärischen Einflüsse rasch zersetzt und entfernt.

Gleichzeitig erlischt auch in einem entsprechenden Theil der Gonidienschicht, die sich bekanntlich unmittelbar an die Rinde anschliesst, die Lebensthätigkeit, so zwar, dass wenn z. B. die Rinde in einer gewissen Zeit bis auf eine Tiefe von 10 Mik. abstirbt, in der nämlichen Zeit auch die peripherischen grünen Zellen bis auf eine Entfernung von 10 Mik. von der äussern Grenze der Gonimonschicht absterben. Die absterbenden Gonidien lassen sich leicht an ihrem Inhalt erkennen; derselbe schrumpft nämlich allmählig zusammen und verschwindet endlich ganz, so dass nur noch die Zellmembran, die dann meist in verschiedener Weise sich faltet, übrig bleibt.

Dieselbe Ursache, welche das Absterben der Gonidien zur Folge hat, ruft in dem lockern Markgewebe, in welchem die absterbenden grünen Zellen liegen, gerade die entgegengesetzte Wirkung hervor. Die Fasern verästeln sich rasch, erscheinen daher immer dichter geflochten und bilden endlich ein interstitienloses Gewebe, welches mit der Rindenschicht verschmilzt und sich überhaupt nicht von ihr unterscheiden lässt. Die letztere erhält auf diese Weise fortwährend einen kleinen Zuwachs: was sie auf der äussern Seite verliert, wird ihr auf der innern gleichzeitig ersetzt, so dass sie zeitlebens ungefähr dieselbe Dicke behält.

Da das Absterben der Rinde allmählig immer weiter nach innen fortschreitet, so wird die Grenzlinie zwischen dem abgestorbenen und dem noch lebenskräftigen Theil früher oder später auch das aus dem Mark entstandene Rindengewebe erreichen. Von diesem Zeitpunkt an muss daher die lebenskräftige Rinde in ihrer ganzen Dicke abgestorbene Gonidien enthalten. Auffallender Weise bemerkt man jedoch von diesen letzteren auf Durchschnitten, die in Wasser, Kali, oder Säuren liegen, überhaupt bei Anwendung der gewöhnlichsten Reagentien, keine Spur; sie treten erst deutlich hervor, wenn man das Präparat in Kali kocht, auswäscht und hierauf Jod in Jodkalium zusetzt. Die abgestorbenen Gonidien färben sich in diesem Falle blau oder blau-violett, während die Membran der Faserzellen farblos bleibt, der Zellinhalt dagegen eine braun-rothe Färbung annimmt.

Die Vertheilung der abgestorbenen Gonidien im Rindengewebe liefert den Beweis, dass das letztere in vielen Fällen ein starkes intercalares Wachsthum besitzt. Während die grünen Zellen der Gonimonschicht eine ununterbrochene grüne Zone oder wenigstens dichte Gruppen bilden, liegen die übrig bleibenden Membranen derselben in der Rinde weit auseinander und zwar, wie man namentlich bei Flechten mit dicker Rindenschicht beobachtet, um so weiter, je näher sie der Oberfläche liegen (VIII, 17). Offenbar kann diese Erscheinung nur durch die starke Verästlung der Rindenfasern erklärt werden.

Die Verluste, welche die Gonimonschicht durch das Absterben der Gonidien erleidet, werden durch Neubildung von grünen Zellen im angrenzenden Theil des Markes wieder ersetzt. Die Markschicht selbst aber, deren oberflächlicher Theil fortwährend in Rinde umgewandelt wird, zeigt ein so lebhaftes Dickenwachsthum, dass sie trotz dieser Umwandlung allmählig an Mächtigkeit zunimmt.

4. Die Entwicklung und Vermehrung der Gonidien.

Nachdem die Lagerung und das Absterben der Gonidien bereits im Vorhergehenden besprochen worden, bleibt hier noch die Entwicklung und Vermehrung derselben zu untersuchen übrig. Was zunächst die Entwicklung betrifft, so ist es ein allgemeines Gesetz, dass die Gonidien durch seitliches Auswachsen der Faserzellen entstehen und zwar genau in derselben Weise, wie es bereits im ersten Theil beschrieben wurde. Sie erscheinen daher stets als die Endzellen kurzer, meist zweizelliger Seitensprosse, als kugelförmige grüne Zellen, die in der Regel auf einzelligen Stielen sitzen. Ihr Inhalt besteht aus homogenem oder körnigem, stets gleichmässig tingirtem Protoplasma, aus welchem sich häufig grössere und kleinere, oft sehr zahlreiche Oeltröpfchen ausscheiden.

Die Vermehrung der Gonidien geschieht durch Theilung. Bezüglich der Aufeinanderfolge der Scheidewände und der Gruppirung der Theilzellen müssen folgende Fälle unterschieden werden:

1) Die erste Scheidewand geht durch den Anheftungspunkt der Stielzelle; die beiden folgenden setzen sich gewöhnlich in der Weise an diese erste an, dass die 4 Theilzellen annähernd tetraedrisch gestellt sind. Seltener bilden die secundären Wände mit der primären ein Kreuz, so dass die Theilzellen in dieselbe Ebene zu liegen kommen. Die Theilung schreitet hierauf in den verschiedensten Richtungen des Raumes fort, es bilden sich grössere Gruppen, die oft noch längere Zeit ihre ursprüngliche Kugelform behalten (also wie bei Usnea und der Mehrzahl der strauchartigen Flechten). Hieher gehören: Anaptychia, Parmelia, Imbricaria, Physcia (Körb.), Umbilicaria, Gyrophora, Placodium.

2) Die erste Scheidewand geht durch den Anheftungspunkt der Stielzelle; die weitere Theilung ist von 1) nicht principiell verschieden, nur folgen die Scheidewände weniger rasch nacheinander und sind dabei häufiger so gestellt, dass je 4 zusammengehörige Theilzellen in einer Ebene liegen. Auch verlieren die aus einer Mutterzelle hervorgehenden Gruppen schon sehr früh ihre Kugelform, sie werden unregelmässig-länglich, oft viel länger als breit und bilden alsdann doppelte oder mehrfache Reihen, deren Gliederzahl sich häufig durch wiederholte Theilung in der nämlichen Richtung vermehrt; schon die isolirten Zellen, die sich eben in zwei getheilt haben, sind meist länglich elliptisch. Dazu kommt, dass die älteren Membranen sich gewöhnlich unter Ausscheidung einer mittleren, wasserreicheren Schicht mehr oder weniger verdicken, die Theilzellen daher nach verschiedenen Richtungen ungleich zusammenhängen, so dass ihre Gruppen zuweilen als zickzackförmige oder zu Knäueln verschlungene Ketten erscheinen, die sich durch Zerdrücken oft leicht isoliren lassen. Der ganze Habitus der Gonidien-

gruppen ist eigenthümlich. Hieher gehören: Sticta (pr. p.), Nephroma, Peltigera, Solorina, Pannaria, Micaraea, Lecothecium, Racoblenna, Pterygium und nach neueren Untersuchungen auch Lichina. Bei den 5 letzteren Gattungen bilden die Gonidien oft schöne, vielgliedrige Ketten, bei den ersteren dagegen grössere oder kleinere Gruppen. Die Neigung zur Kettenbildung tritt zum ersten Mal in den blau-grünen Gonidiennestern im Marke von Solorina und bei einzelnen Arten von Pannaria deutlich hervor.

Zwischen 1) und 2) finden sich Uebergänge bei den Gattungen Sticta, Endocarpon, Endopyrenium.

3) Die Gonidien bilden ein getrenntes System von Zellen, ohne genetische Beziehung zu den Fasern (also ohne Stielzellen) und mit selbstständigem Scheitelwachsthum. Das letztere geschieht durch wiederholte Quertheilung der Scheitelzelle. In den Gliederzellen treten in grösserer oder kleinerer Entfernung von der Thallusspitze Längswände auf und in den so gebildeten Theilzellen wieder quer und schief verlaufende Wände. Die spätern Theilungen finden nach verschiedenen Richtungen des Raumes statt und führen zu Gruppen, welche mit denen von Pannaria u. a. übereinstimmen. So bei Ephebe, Gonionema, Spilonema. — Bei der verwandten Gattung Coenogonium beruht die Vermehrung der Gonidien einzig und allein auf Quertheilung und Verästlung.

4) Die erste Scheidewand geht durch den Anheftungspunkt der Stielzelle, ebenso jede folgende Scheidewand. Die Stielzelle verzweigt sich jedesmal nach stattgefundener Theilung dichotomisch, so dass die Theilzellen aller Generationen auf Gabelzweigen sitzen; die successiven Gabelungsebenen schneiden sich rechtwinklig. Zu dieser regelmässigen Verzweigung kommt zuweilen noch eine weitere unregelmässige, wodurch die Zellgruppen ein soredienähnliches Aussehen erhalten. Die Theilung findet bloss nach 2 oder 3 aufeinander senkrecht stehenden Richtungen statt: jede folgende Scheidewand setzt sich rechtwinklig an die vorhergehende an, jede Gabelungsebene steht senkrecht zur anstossenden Scheidewand. Hieher gehören: Omphalaria (Thyrea), Enchylium, Corynophorus, Synalisssa, Psorotichia.

5) Die erste Scheidewand steht senkrecht auf der Verlängerung des Stieles; die folgenden verlaufen mit der ersten parallel, so dass die Theilzellen eine vielgliedrige Kette bilden. Eine Theilung durch Längswände findet nicht statt. Hieher gehören: Mallotium, Leptogium, Collema, Synechoblastus, Lempholemma, Arnoldia, Obryzum.

Die unter 2) bis 5) aufgeführten Flechten besitzen sämmtlich blau grüne oder blassgrüne (durch Phycochrom gefärbte) Gonidien, welche sich überdiess durch eine meist etwas geringere Grösse von den unter 1) erwähnten gelbgrünen Gonidien unterscheiden. Eine scharfe Grenze zwischen diesen beiden Categorien lässt sich übrigens nicht ziehen, da Farbe und Grösse ein ebenso unsicheres Criterium bieten, als die Gruppirungsweise. Es gibt typisch-blaugrüne Gonidien (z. B. bei Heppia), welche die mittlere Grösse der gelb-grünen erreichen, und hinwiederum gelb-grüne (z. B. bei Placodium, Sticta herbacea, einzelnen Imbricarien etc.) deren Durchmesser 10 — 12 Mik. nicht übersteigt.

Auf der andern Seite vermissen wir namentlich bei Gattungen, in welchen der Uebergang von der blau-grünen zur gelb-grünen Farbe stattfindet, nicht selten die Uebereinstimmung zwischen Farbe und Anordnung. So sind z. B. die Gonidien von Endocarpon miniatum v. umbilicatum, obgleich entschieden gelbgrün, ganz nach dem Typus der blau-grünen gruppirt, und auch die übrigen Endocarpon-Arten, sowie Endopyrenium und Catopyrenium, verhalten sich ähnlich. Endopyrenium rufescens (mit gelb-grünen Gonidien) zeigt z. B. genau dieselbe Gruppirung wie Endocarpon Guepini (mit typisch-blaugrünen Gonidien). Es sind diess Thatsachen, welche, wie mir scheint, darin ihre Erklärung finden, dass die Veränderungen, welche die Natur der Gonidien in gewissen Formenreihen erleidet, nicht gleichzeitig auf Farbe, Grösse und Anordnung sich ausdehnen, sondern bald in dieser, bald in jener Richtung zuerst bemerkbar werden.

Wenn die Gonidien bloss in Folge theilweiser Trennung der Theilzellen schnurförmige Reihen bilden — gleichviel ob später auch Theilung durch parallele Wände stattfinde oder nicht —, so sind sämmtliche Glieder der Reihe gleichwerthig; so bei Lecothecium, Racoblenna etc., überhaupt bei den Pannariaceen. Wenn dagegen die kettenförmige Anordnung gleich von Anfang an im Theilungsvorgang begründet ist, so bilden sich einzelne Glieder in eigenthümlicher Weise aus und zwar bei der Mehrzahl der Collemaceen zu farblosen Grenzzellen (wie bei Nostoc), bei Arnoldia und Lempholemma nach stattgefundener Copulation mit Faserästen zu Copulationszellen (s. d. Nähere hierüber bei den erwähnten Gattungen).

Der Theilungsprozess wiederholt sich in den successiven Generationen allem Anschein nach ohne bestimmte Grenze. Dabei findet die theilweise oder gänzliche Trennung der Tochterzellen nicht bei irgend einer bestimmten Generation statt, sondern bald früher, bald später, je nachdem die Scheidewände langsamer oder rascher aufeinander folgen. Bei den Gonidienketten trennen sich die einzelnen grünen Zellen gewöhnlich nie vollständig voneinander, sondern bleiben mindestens durch die in eine Spitze ausgezogenen Enden mit den benachbarten in Verbindung. Die Theilung der Ketten geschieht vorzugsweise durch Ablösung der Grenzzellen.

Die Gonidien stimmen in mancher Beziehung und namentlich auch mit Rücksicht auf die Vermehrungsweise so auffallend mit den niedern Algen überein, dass man geradezu sagen kann, die Natur habe hier ein Stück Algenleben zum zweiten Mal zur Erscheinung gebracht. Die blau-grünen Gonidien entsprechen den Chroococcaceen und Nostochaceen, die gelb-grünen den Palmellaceen.

Die Membran der Gonidien färbt sich nach Kochen in Kali und Zusatz von Jod in Jodkalium (oder auch Jodtinctur) blau oder violett, während die Fasermembran in der Regel farblos bleibt. Dieselbe Wirkung ruft auch concentrirte Schwefelsäure mit Jodlösung hervor. Durch diese Reaction wird es, wie bereits erwähnt, möglich, die abgestorbenen Gonidien in der Rinde nachzuweisen.

Anmerkung. Ueber die Natur und Vermehrungsweise der Gonidien sind in den neueren lichenologischen Werken zum Theil sehr abweichende Angaben mitgetheilt, bezüglich deren ich auf die Anmerkungen bei den betreffenden Gattungen verweise. Hier beschränke ich mich darauf, die ausführlichere Darstellung Nylander's in der Einleitung zu seiner „Synopsis methodica Lichenum" mit einigen Worten zu beleuchten. Nylander unterscheidet zwischen Gonidienzellen und Gonidienkörnern (grains gonidiaux, granula gonima) und rechnet zu den letzteren die blau-grünen Gonidien der Collemen, Pannarien, Lichineen etc. Die Gonidienkörner sollen selbst keine eigene Membran besitzen, sondern zu 1 oder mehreren in den Zellen des Thallus vorkommen, deren Höhlungen sie gewöhnlich genau ausfüllen. Das Thatsächliche, welches dieser Auffassung zu Grunde liegt, ist offenbar das Vorkommen von doppelt conturirten oder gallertartig verdickten Hüllen (Membranen der Mutterzellen), welche die durch zarte Scheidewände getrennten Theilzellen umschliessen. Dass solche Scheidewände wirklich vorhanden sind, lässt sich in vielen Fällen ohne Weiteres direct beobachten, in andern durch genaueres Studium mit Sicherheit nachweisen. Wie übrigens Nylander eine „thallinische Zelle", welche ein einziges „Gonidienkorn" einschliesst, von einer wahren Gonidienzelle unterscheidet; wie er sich ferner die Bildung jener zarten gallertartigen Scheidewände erklärt, welche nach seiner Angabe die „Gonidienkörner" der Pannarien und Collemen voneinander trennen, lässt sich aus seiner Darstellung nicht entnehmen.

Die Gonidienzellen theilt Nylander wieder ein in „gonidies thallines" und „gonidies hyméniales", wovon die ersteren in gewöhnliche Gonidien (gonidies ordinaires) und Chrysogonidien (chrysogonidies) zerfallen. Von den gewöhnlichen (gelb-grünen) Gonidien wird angegeben, sie zeigen im Centrum in der Mehrzahl der Fälle einen dichtern Kern, dessen Theilung der Scheidewandbildung vorausgehe. Ich möchte dagegen bezweifeln, ob überhaupt Zellkerne in den vegetativen Zellen der Flechten vorkommen, und behaupte, dass diess jedenfalls in der grossen Mehrzahl der Fälle nicht der Fall ist. — Was man sich unter der zweiten Art von Gonidienzellen, den Chrysogonidien, vorzustellen hat, ob vielleicht gewöhnliche Gonidien mit orangefarbigen Oeltropfen oder irgend etwas Anderes, muss ich dahingestellt sein lassen, da ich die angeführten Flechtenarten, bei denen sie vorkommen, nicht untersucht habe. Ebensowenig kenne ich die „Gonidies hyméniales", welche bei einigen Verrucarien in die die Schläuche umgebende Gallerte des Thalamiums eingebettet sind, aus eigener Anschauung. Nach der Beschreibung scheint mir indess die Vermuthung gerechtfertigt zu sein, Nylander habe die Zellen der (angeblich fehlenden) Paraphysen für Gonidien angesehen. Doch wäre es auch möglich, dass diese Gebilde mit denjenigen übereinstimmten, welche bei Lecanora Zwackhiana Krplhbr. in parallelen Reihen zwischen den Paraphysen liegen. Hier sind es aber keine Gonidien, überhaupt keine Zellen, sondern körnige, in verdünnten Säuren und Alkalien unlösliche Secretionsprodukte.

5. Die Soredien.

Die Entwicklung der Soredien beruht in der Regel auf den nämlichen Wachsthumserscheinungen, welche bereits im ersten Theil ausführlich beschrieben und abgebildet wurden. Nur ist es wahrscheinlich, dass unter Umständen — wenn nämlich die Gonidien in ein dichtfilziges Gewebe eingesenkt sind — nicht bloss die Verästlungen der Stielzelle, sondern auch die der anliegenden Faserzellen zwischen die Theilzellen eindringen und folglich an der Bildung der Gonidienhüllen Theil nehmen. Die letzteren sind übrigens, wie bei den strauchartigen Flechten, bald dichter, bald lockerer geflochten und im ersteren Falle fibrös oder dünnwandig-parenchymatisch.

Bei den Gattungen mit blau-grünen Gonidien, insbesondere bei Pannaria (P. rubiginosa v. coerulea) bestehen die Soredien fast nur aus Gonidien. Die spärlichen Fasern, welche dazwischen vorkommen, dringen nicht zwischen die

Zellen der letzten Generationen ein, sondern verlaufen, sich vielfach verästelnd, zwischen den gallertartigen Hüllen der Mutterzellen.

Der Durchbruch der Soredien durch die Rinde findet bekanntlich bald an beliebigen Stellen der Oberfläche, bald an den Rändern der Lappen statt. Im letzteren Falle löst sich die obere Rinde oft auf grösseren Strecken von der untern ab und schlägt sich mit ihrem freien Rande nach oben um, so dass die Innenfläche mit den anhängenden Fasern und Soredien nach aussen gekehrt ist, so z. B. bei Sticta aurata, Imbricaria terebrata etc.

Bezüglich der Färbung der Soredien bemerke ich nur, dass dieselbe nicht etwa vom Inhalt der Gonidien herrührt, wie gewöhnlich angegeben wird, sondern von der Natur des Fasergeflechtes oder von der Farbe kleiner Körperchen abhängt, die von den Fasern abgesondert werden. Die Soredien von Parmelia caesia sind z. B. bläulich oder graulich weiss, die Gonidien dagegen gelb-grün, die Soredien von Sticta crocata gelb, die Gonidien blau-grün.

Die Soredien besitzen bekanntlich das Vermögen, das Individuum fortzupflanzen; sie entwickeln sich unter günstigen Bedingungen zu einem neuen Thallus. Bei diesem Vorgange sind indess bloss die Fasern, welche die grünen Zellen umschliessen, nicht — wie man bisher angenommen — diese letzteren selbst, direct betheiligt. Es ist durchaus unrichtig, dass die Gonidien in dieser oder jener Weise in Faserzellen auswachsen und so den Aufbau eines Thallus oder Protothallus einleiten*.

Zur Bildung der Thallusanlage wird oft nur ein winziger Theil des gonidienführenden Fasergeflechtes, z. B. eine einzige grüne Zelle mit ihrer Faserhülle, verwendet. In andern Fällen ist es dagegen eine grössere, auf der Unterlage ausgebreitete Soredienmasse, welche am Rande zu sprossen beginnt und damit von der tiefern Bildungsstufe eines „gonimischen Afterproductes“ sich zur höheren „thallodischer Entwicklung“ erhebt.

6. Der Hypothallus.

Der Hypothallus oder Protothallus spielt bekanntlich in den lichenologischen Werken der ältern und neuern Zeit eine grosse Rolle, insbesondere bei den krustenartigen Flechten. Man pflegt ihn als das erste Product der keimenden Pflanze, als die vorgebildete Unterlage zu betrachten, auf welcher der Thallus sich aufbauen und welche in vielen Fällen auch die Apothecien erzeugen soll.

(*) Gestützt auf diese Thatsache, die ich bereits im ersten Theil, sowie ferner in meinem Vortrag „Ueber den Bau und das Wachsthum des Flechtenthallus“ in der naturforschenden Gesellschaft in Zürich (s. deren Vierteljahrsschrift 1860) hervorgehoben, hat Stizenberger (Versuch zur Bereinigung der Terminologie etc. in Flora 1861 Nr. 13 — 15) für die grünen Zellen der Flechten die Benennung „Chromidia (Farbzellen)“ vorgeschlagen, indem er den Ausdruck „Gonidia“ mit Al. Braun „nur auf erwiesene reproductive Zellen“ anwenden will. Ich habe Nichts dagegen; doch glaubte ich hier, wo es sich in erster Linie um Feststellung der Thatsachen handelt, den alten Namen beibehalten zu sollen.

Diese Anschauungsweise steht indess mit der Wirklichkeit im Widerspruch. Ein Protothallus im angegebenen Sinne des Wortes kommt nur bei einer beschränkten Zahl von Flechten vor; bei allen übrigen sind es morphologisch verschiedene und in keinem Falle praeexistirende Gebilde, meist Anhangsorgane der Lagerunterfläche, für welche diese Bezeichnung gebräuchlich ist. Unter solchen Umständen ist es unerlässlich, die gewohnte Benennungsweise dahin zu verändern, dass man den Ausdruck Protothallus für den dem Worte entsprechenden Begriff reservirt und die hypothallinischen Anhangsgebilde streng davon unterscheidet.

1. Der Protothallus. Ein wahrer Protothallus kommt nur bei Flechten mit krustenartigem oder kleinschuppigem Habitus vor. Er erscheint hier als ein meist gleich in die Augen fallender Saum von verschiedener Breite und Färbung (blau, schwarz, weiss), gebildet von vorherrschend radial verlaufenden, oft confervenartig strahlenden Fasern oder Faserbündeln mit unbegrenztem Scheitelwachsthum. Auf seinem innern Theil entstehen fortwährend junge Thallusanlagen, kleine gonidienführende Schüppchen, die zuerst nur spärlich, dann in grösserer Zahl auftreten und endlich zu einer zusammenhängenden gefelderten oder kleinschuppigen Kruste verschmelzen. So verhalten sich z. B. Rhizocarpon, Lecothecium, Racoblenna (?) und wahrscheinlich auch manche typischen Krustenflechten, worüber im dritten Theil das Nähere mitgetheilt werden soll. Nicht hieher gehören dagegen alle diejenigen Flechten, welche einen gelappten oder effigurirten Thallus (Th. lobatus, sublobatus, radioso-lobatus etc.) besitzen, wie z. B. Pterygium centrifugum Nyl. Amphiloma oreinum Ach., überhaupt solche, bei welchen der Augenschein lehrt, dass sie aus einer einzigen Thallusanlage hervorgegangen, die durch unbegrenztes Marginalwachsthum sich weiter entwickelt. Die einen und die andern voneinander zu unterscheiden, ist namentlich bei dickeren Krusten, wenn anders der Rand deutlich erhalten*, in der Regel nicht schwer.

Der Protothallus ist zweifelsohne das Product der keimenden Spore. Dass auch Soredien ein protothallinisches Fasergeflecht bilden, ist mir aus zwei Gründen nicht wahrscheinlich: 1) weil bei den oben erwähnten Gattungen keine Soredien vorkommen, wenigstens bis jetzt keine beobachtet sind, und 2) weil das Soredium selbst als ein microscopischer Thallus zu betrachten ist, der Protothallus daher zunächst als ein vom Thallus gebildetes, später als Thallus bildendes Organ erscheinen würde, was nicht wohl anzunehmen. Das Dasein eines Protothallus setzt also die Entwicklung aus der Spore voraus. Umgekehrt erzeugt jede keimende Spore, wie wir ganz bestimmt wissen, zuerst einen kleinen Protothallus, einen Vorkeim, auf welchem früher oder später der Thallus angelegt wird. Demzufolge lässt sich der ganze Unterschied zwischen Flechten mit und ohne Protothallus zurückführen auf Dimensionsverhältnisse oder richtiger auf Differenzen im

---

(*) Leider wurde bis jetzt beim Sammeln von Flechten fast nur auf Exemplare mit Früchten, nicht auf solche mit jugendlichem, lebenskräftigem Rande geachtet. Es ist daher sehr zu empfehlen, in Zukunft auch der Entwicklungsgeschichte des Thallus einige Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Vegetationsvermögen. Bei den einen bleibt der Protothallus sehr klein und wird von der einmal gebildeten Thallusanlage sehr bald überwuchert, während die letztere sich unbegrenzt in die Fläche ausdehnt. Bei den andern gestaltet sich das Verhältniss umgekehrt: der Thallus hat ein sehr begrenztes oder sehr langsames Wachsthum, der Protothallus wuchert dagegen üppig fort, um von Zeit zu Zeit neue Thallusanlagen zu erzeugen. Obschon ich diese Grössenverhältnisse bis jetzt nur in ihren Extremen kennen gelernt habe, so zweifle ich doch nicht, dass es unter den Krustenflechten auch solche gibt, bei welchen der Protothallus ein weit ausgebreitetes Fasergeflecht bildet, dem mehrere Thallusanlagen entsprossen, bei welchen aber auch die letzteren ein unbegrenztes oder doch länger andauerndes Marginalwachsthum besitzen und eine beträchtliche Grösse erreichen. Nur dürften in diesem Falle die protothallinischen Fasern in der Regel schwer nachzuweisen sein, da gewöhnlich auch ein starker hypothallinischer Filz zur Entwicklung kommt, der in den systematischen Werken irrthümlich als Protothallus beschrieben wird und den wirklichen Protothallus nicht mehr erkennen lässt.

Mit dieser Auffassung des Verhältnisses zwischen Thallus und Protothallus stimmt denn auch die Thatsache überein, dass bei übrigens nah verwandten Flechten, ja wahrscheinlich sogar unter den Arten der nämlichen Gattung, die einen (z. B. Lecothecium, Pannaria Schaereri?) einen augenfälligen Protothallus besitzen, während er den andern (Pterygium, Pannaria plumbea) fehlt. Es wäre diess kaum zu erwarten, wenn es sich dabei um principielle Differenzen in der Entwicklungsweise handeln würde.

Der Protothallus ist stets gonidienlos, er erzeugt die Gonidien nur zum Behufe der Thallusbildung. Da nun die grünen Zellen wie bei den höheren Pflanzen, so wahrscheinlich auch bei den Flechten die einzigen sind, welche assimiliren, so ist nicht anzunehmen, dass im Protothallus Assimilation stattfinde. Derselbe ist vielmehr darauf angewiesen, die zu seiner Entwicklung erforderlichen Säfte zunächst aus der Spore und später aus den mittlerweile gebildeten Thallusanlagen zu beziehen.

Dass der Protothallus je Apothecien bilde, bezweifle ich sehr. In den mir bis jetzt bekannt gewordenen Fällen, namentlich bei Lecothecium, ist diess entschieden nicht der Fall.

2. Die hypothallinischen Anhangsgebilde. In der Mehrzahl der Fälle wird der Hypothallus oder angebliche Protothallus von den aus der Lagerunterfläche hervorsprossenden Fasern gebildet und ist daher als ein blosses Bekleidungsorgan, als ein Trichomgebilde im Gegensatz zum Thallom zu betrachten. Wenn er bei Pannaria plumbea u. a. unter dem Thallusrande hervorsteht, so beweist das bloss seine üppige Vegetation; die jüngsten Fasern erscheinen auch hier als kleine Ausstülpungen der Rindenzellen oder als wenigzellige Faserfortsätze, die ältern lassen sich häufig von den lebhaft vegetirenden Enden bis zu der der Lagerunterseite aufsitzenden Basis verfolgen.

Die Anhangsorgane der Lagerunterseite bilden übrigens nicht immer einen Hypothallus im Sinne der neueren Autoren; sie erscheinen zuweilen auch nur als ein schwacher Filzüberzug oder bilden isolirte Faserbündel, die oft weit voneinander abstehen. Diese verschiedenen Erscheinungsformen lassen sich mit Rücksicht auf ihren anatomischen Habitus etwa folgendermassen gruppiren:

a) Haftfasern, die aus einem interstitienlosen Gewebe vorherrschend longitudinal verlaufender Fasern bestehen, an der Oberfläche gewöhnlich etwas dunkler gefärbt und bestimmt abgegrenzt: rhizinae solidae. Kommen vor bei Parmelia, Imbricaria, Anaptychia, Massalongia, Physcia (Körb.) Gyrophora.

b) Haftfasern, die aus einem lockeren, markähnlichen Gewebe vorherrschend longitudinal verlaufender Fasern bestehen, an der Oberfläche ohne bestimmte Abgrenzung und gleichfarbig: rhizinae stuppeae. Nur bei Peltigera und Solorina.

c) Isolirte oder zu wenigen verschmolzene Zellfäden, welche (wie bei höheren Pflanzen die Haare) einen filzigen Ueberzug bilden: tomentum. Bei Sticta, Nephroma, Mallotium, Collema.

d) Isolirte, meist lebhaft vegetirende Zellfäden, die sich zu einem lockeren, oft schwammigen Gewebe verflechten, welches dem Thallus als Unterlage dient: „hypothallus.“ Bei Pannaria, Placodium, Endopyrenium u. a.

Von einer Entwicklung der Apothecien aus dem Hypothallus kann nach dem Vorhergehenden selbstverständlich nicht die Rede sein.

Anmerkung. Nylander (Syn. p. 11) unterscheidet bloss zwei Hauptformen der „hypothallinischen Schicht, den Hypothallus und die Haftfasern (rhizines). Zu den letztern zählt er sowohl den Faserfilz der Gattungen Sticta und Nephroma, als die soliden Faserbündel der Parmelien. — Von der „hypothallinischen Schicht“ wird ganz allgemein ausgesagt, sie entstehe vor den übrigen Schichten des Thallus, von den Rhizinen dagegen (die doch auch dazu gehören), sie bilden sich an der untern Lagerfläche der laubartigen Flechten!

7. Das Flechtenindividuum.

Die Thallusanlagen, welche dem Protothallus entsprossen, sind offenbar gleichwerthige Gebilde, analog den stammbildenden Knöspchen auf dem Vorkeim der Moose. Ob sie eine grössere oder geringere Entwicklungsfähigkeit besitzen, ob sie einzeln oder zu mehreren auf dem Protothallus auftreten, ob sie im letzteren Falle eine zusammenhängende Kruste bilden oder isolirt bleiben, — das Alles ändert Nichts an ihrer morphologischen Bedeutung. Sie sind in all' diesen Fällen die Ausgangspunkte individueller Erscheinungen gleicher Ordnung, und wenn die viellappige Rosette der Parmelien und Imbricarien als Individuum betrachtet wird, so verdienen die Lagerschüppchen von Rhizocarpon und Lecothecium dieselbe Benennung. Diese Ansicht mag auf den ersten Blick etwas gewagt erscheinen, sie wird sich aber von selbst aufdrängen, wenn die die erwähnten Extreme vermittelnden Uebergangsstufen, deren Existenz ich namentlich bei Flechten mit einem „Thallus squamulosus“ als sehr wahrscheinlich betrachte, mit Sicherheit nachgewiesen und genauer bekannt sind.

So wäre also die Lagerkruste von Lecothecium, Rhizocarpon und andern übereinstimmenden Flechten nicht als einzelnes Individuum, sondern als Colonie von Individuen zu betrachten, die sowohl morphologisch als physiologisch vollkommen selbstständig sind oder doch sein können. Der Protothallus gleicht hier gewissermassen einem Rhizom, welches zeitlebens unter der Erdoberfläche fortvegetirt, aber mit jedem Jahr secundäre Stammorgane zum Lichte emportreibt, die dann in gesetzmässiger Sprossfolge das vegetabilische Leben zum Abschluss bringen.

Bei der Entwicklung des Flechtenlagers aus Soredien bildet jedes einzelne Soredium, insofern es isolirt auftritt, eine kleine Thallusanlage, folglich den Ausgangspunkt einer neuen individuellen Lebenserscheinung. Es lässt sich denken, dass auch bei dieser Entwicklungsweise zahlreiche gesellschaftlich auftretende Individuen den Eindruck eines Ganzen machen, doch ist mir kein Beipiel dieser Art bekannt. Dagegen kommt es ohne Zweifel sehr häufig vor, dass mehrere in Entwicklung begriffene Soredien miteinander verschmelzen und hierauf zu einer einzigen Thallusrosette heranwachsen.

Betrachten wir die Lebensbewegung der Flechten von der Spore bis wieder zur Spore, so sehen wir dieselbe dreimal auf neue Ausgangspunkte zurücksinken: bei der Thallusanlage, bei der Apothecienanlage und bei der Sporenbildung. Es findet also Generationswechsel oder, wenn man lieber will, Vegetationswechsel statt. Die drei Abschnitte, in welche der ganze Cyclus zerfällt, umfassen beziehungsweise den Protothallus, den Thallus und das Apothecium. Wenn die beiden letzteren, obgleich individuelle Erscheinungen untergeordneter Art, durch vorwiegende Entwicklung selbstständig werden, so betrachtet man sie wohl auch als Individuen schlechthin. Ich erinnere bezüglich der Apothecien (für den Thallus wären Beispiele überflüssig) an solche, welche aus kleinen Thallusschüppchen entstehen, die sie später vollständig überwuchern und verdecken, so dass sie scheinbar ohne begleitende Lagerbildung auftreten; ferner an Calycium, Cyphelium, Coniocybe etc., bei welchen der Thallus gegen die gestielten Apothecien in gleicher Weise zurücktritt, wie in andern Fällen der Protothallus gegen den Thallus. Vielleicht dürfen hier auch die Cladoniaceen als Beispiele angeführt werden, da die Podetien, wie bei den andern Flechten die Apothecien, im Marke der Lagerschüppchen entstehen und hierauf die Rinde durchbrechen, während die Früchte, wie ich vermuthe, durch directe Fortentwicklung der Podetienspitze, und nicht aus neuen Anlagen gebildet werden.

Die Grössenverhältnisse zwischen den drei Vegetationsabschnitten zeigen also alle möglichen Abstufungen; bald ist der Protothallus, bald der Thallus, bald das Apothecium (resp. der Apothecien bildende Spross) vorwiegend entwickelt. Fast ebenso mannigfaltig gestalten sich auch die Zahlenverhältnisse. Der Protothallus kann 1 bis viele Thallusanlagen, jede von diesen 1 bis viele Apothecien bilden, die letzteren erzeugen Hunderte bis Millionen von Sporen. Die Lebensbewegung, die von der Spore ausgeht, kann sich also mit jedem Wechsel der Vegetation vervielfältigen; sie schliesst auch im einfachsten Fall mit einer Vielzahl von Sporen ab, um von diesen aus den nämlichen Kreislauf wieder zu beginnen.

Es ist hier nicht der Ort, an diese Darstellung der Verhältnisse weitere theoretische Betrachtungen anzuknüpfen; ich bemerke nur noch, dass die Flechten hinsichtlich ihrer Sprossfolge an die Laub- und Lebermoose erinnern, in manchen Fällen jedoch durch grössere Selbstständigkeit des sporenbildenden Sprosses sich auszeichnen.

8. Die körnigen Einlagerungen.

Die körnigen Bildungen, welche durch den Vegetationsprocess der Flechten hervorgebracht werden, bestehen entweder aus oxalsaurem* Kalk, der in selteneren Fällen sogar in regelmässigen Octaedern auftritt, oder sie gehören zu der noch wenig erforschten Gruppe der sogenannten Flechtenstoffe oder Flechtensäuren. Merkwürdiger Weise kommen die einen wie die andern nicht etwa im Lumen der Zellen vor, wie sich nach Analogie der höhern Pflanzen erwarten liesse, sondern an der Aussenfläche der Zellmembran oder — wenn das Gewebe interstitienlos — zwischen den sich berührenden Wandungen. Die Zellhöhlungen enthalten keine körnigen Bildungen.

Das Vorkommen von oxalsaurem Kalk unter körniger oder krystallinischer Form beschränkt sich übrigens, soweit meine Beobachtungen reichen, auf die „heteromerischen" Flechten mit krustenartigem Habitus, in der Reihe der Gattungen und Arten, die in der Folge erwähnt sind, auf Placodium und Endocarpon monstrosum (Schaer.) Mass. Bei den übrigen finden sich entweder keinerlei körnige Einlagerungen oder ausschliesslich die oben erwähnten Flechtenstoffe. Letztere lassen sich mit Rücksicht auf ihre Farbe und ihr Verhalten gegen Kali, in welchem sie sich sämmtlich mehr oder minder leicht lösen, etwa in folgender Weise gruppiren:

1) Farblose Körperchen, bilden mit Kali eine farblose Lösung. In der obern Rinde von Placodium, im Marke von Peltigera, Solorina saccata, Sticta u. a.
2) Gelbe Körperchen, bilden nach Erhitzen mit Kali eine farblose Lösung, im Marke und in den Soredien von Sticta aurata, in der Rinde von Cetraria straminea u. a.
3) Gelb oder roth gefärbte Körperchen, bilden nach Zusatz von Kali (wenn man in der umgebenden Flüssigkeit eine schwache Strömung hervorruft) rothe oder violette Wolken. An der Oberfläche von Physcia parietina, im Marke von Solorina crocea (s. d.).

Auf eine genauere Untersuchung dieser verschiedenen körnigen Bildungen glaubte ich vor der Hand um so eher verzichten zu dürfen, als dieselbe auf microchemischem Wege doch nicht zu einem befriedigenden Abschlus gebracht werden könnte.

Anmerkung. Unter den körnigen Bildungen, welche im Flechtenthallus vorkommen, erwähnt Nylander auch die Stärkekörner; er sagt (Syn. p. 50) wörtlich: „le dernier

---

(*) Dass die an Kalk gebundene Säure immer Oxalsäure sei, kann ich übrigens keineswegs verbürgen. Thatsache ist nur, dass die betreffenden körnigen Bildungen sich in verdünnten Säuren ohne Gasentwicklung lösen und dass die chemische Analyse in den incrustirten Geweben Oxalsäure nachgewiesen hat.

(l'amidon), je dois le dire, se rencontre aussi dans les Lichens (bien que très rarement) à l'état de grains lenticulaires assez gros, dispersés dans les tissus, surtout des espèces crustacées." Ich gestehe, dass ich die Richtigkeit dieser Angabe sehr bezweifle. Einerseits ist nicht wohl anzunehmen, dass „ziemlich grosse" Körner in den sehr kleinen Zellen der Krustenflechten vorkommen, und andererseits ist es im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass Stärkekörner auch ausserhalb der Zellen sich bilden können.

Das Vorkommen des oxalsauren Kalkes betreffend, bemerkt Nylander, derselbe finde sich wahrscheinlich bei allen Flechten (pag. 4) und sei an der octaedrischen Form der Krystalle leicht zu erkennen (p. 50). Mir war es bis jetzt nicht vergönnt, octaedrische Krystalle bei einer grössern Zahl von Flechten zu beobachten, und ich zweifle nicht, dass Nylander, welcher pag. 48 von kleinen unregelmässigen Körperchen spricht, welche in grosser Zahl im Marke der Krustenflechten vorkommen und nach Zusatz von Schwefelsäure sich in nadelförmige Krystalle umwandeln, den oxalsauren Kalk auch in der jedenfalls gewöhnlicheren Körnerform gesehen, aber nicht erkannt hat. Wie er trotzdem das Vorkommen des oxalsauren Kalkes in Krystallform ein allgemeines nennen und dasselbe sogar als Criterium der Flechten im Gegensatz zu den Pilzen anführen kann, ist mir unbegreiflich. Ich glaube versichern zu dürfen, dass die Gallertflechten und ebenso die laub- und strauchartigen Flechten weder Krystalle noch Körner von oxalsaurem Kalk enthalten.

9. Wachsthum der Membranen.

Ueber das Wachsthum der geschichteten vegetabilischen Gebilde gehen bekanntlich die Ansichten immer noch weit auseinander. Die einen erklären dasselbe durch Auflagerung neuer Schichten auf die bereits gebildeten (Apposition), die andern durch Einlagerung von Substanz und Wasser in die schon vorhandene Masse (Intussusception). Für die Stärkekörner scheint mir freilich die Streitfrage durch die scharfsinnigen Untersuchungen Nägeli's zu Gunsten der Intussusception entschieden; was dagegen die Membranen betrifft, so bleiben anatomische Thatsachen, die über das Wachsthum derselben Aufschluss geben, wenn sie auch mit bereits erwähnten in dieselbe Kategorie gehören, immer noch erwähnenswerth.

1) Die Membranen der Faserzellen erscheinen bei mässiger Verdickung durchgehends homogen; bei stärkerer beobachtet man dagegen häufig eine mittlere wasserreichere Zone zwischen einer innern und einer äussern dichten. Wo immer eine solche Schichtung deutlich hervortritt, ist die innerste, unmittelbar an den Primordialschlauch grenzende Schicht stets eine dichte, nie eine weiche. Es kann daher nicht angenommen werden, dass die mittlere weiche Schicht durch Anlagerung von innen sich gebildet habe und später von einer dichten bedeckt worden sei; sie muss vielmehr durch Wachsthumserscheinungen im Innern der Membran entstanden sein.

2) Bei den Gonidienmembranen der Omphalarien lässt sich das Auftreten einer mittleren weichen Schicht zwischen zwei dichten deutlich verfolgen. Die innere dichte Schicht spaltet sich nach stattgefundener Theilung der Zelle, die sie umschliesst, wieder in zwei dichte, die durch eine wasserreichere voneinander getrennt sind. Während die Theilung der Gonidien und die Spaltung der die Theilzellen umschliessenden Schichten so fortschreitet, nehmen die peripherischen dichten Schichten an Umfang zu und an Dicke ab, bis sie endlich vollständig in weiche Substanz oder Gallerte übergeführt sind.

3) Da die Gonidienketten sich unbegrenzt verlängern und oft nachweisbar aus Hunderten von Gliedern bestehen, so müssen auch die peripherischen Schichten ihrer gallertartigen Hüllen sich unbegränzt in die Länge ausdehnen, wobei indess der Umfang derselben nur wenig oder auch gar nicht zunimmt. Nach der Appositionstheorie kann diese Verlängerung, da der Zellinhalt hydrostatisch wirkt, nur durch die ungleiche Cohäsion der Membrantheilchen in der Längs- und Querrichtung erklärt werden. Eine solche Ungleichheit ist jedoch bei der gallertartigen Beschaffenheit der Hülle, die sich gegen polarisirtes Licht, wie ein einfach brechendes Medium verhält, im höchsten Grade unwahrscheinlich.

4) Die Verwandlung der äussern Membranschichten in eine gelatinöse Pulpa ist eine Erscheinung, die nur durch die Annahme einer Einlagerung von Wasser, verbunden mit Veränderungen in der Molecularconstitution, die diese Einlagerung gestatten, auf befriedigende Weise erklärt werden kann.

10. Verhalten der Membranen gegen chemische Reagentien.

Ich theile hierüber folgende, gelegentlich gemachte Beobachtungen mit.

1) Bei manchen Gattungen kommen Stellen im Gewebe vor, welche nach Zusatz von Jodlösung eine schwach blaue Farbe annehmen. Die Färbung der Schläuche und der grosszelligen Fasern im Hypothecium, aus welchen sie entspringen, ist bekannt. Nach Erhitzen in verdünnten Säuren tritt die Färbung entschiedener und auch an Stellen hervor, wo sie vorher nicht bemerkbar war. (Bei Phylliscum endocarpoides färben sich die Gonidienmembranen in Jodlösung oft schön violett oder braun-violett.)

2) Nach Erhitzen in Kali und Zusatz von Jod in Jodkalium (oder auch Jodtinctur) färben sich die Gonidienmembranen intensiv blau oder blau-violett, jedoch nur bei Flechten mit gelb-grünen Gonidien. Die Membranen der blau-grünen Gonidien bleiben farblos. — Eine Ausnahme bildet die ganze Gruppe der Ephebaceen: Ephebe, Spilonema, Gonionema, welche eine schön blaue Färbung zeigen.

3) Mit concentrirter Schwefelsäure und Jodlösung färben sich die Membranen der gelb-grünen Gonidien intensiv blau (heller als im vorhergehenden Fall), die der blau-grünen bleiben farblos oder erscheinen schwach bläulich [*].

(*) Eine deutlich blaue Färbung zeigten ausnahmsweise die Gonidienmembranen bei Psorotichia murorum und Ephebe pubescens. Ob bei den übrigen Gattungen mit blau-grünen Gonidien die innerste dichte Membranschicht, welche bei isolirten Theilzellen als deren besondere Membran erscheint, gefärbt oder ungefärbt sei, ist bei der geringen Dicke derselben in manchen Fällen zweifelhaft. Sicher ist, dass die dicken gallertartigen Hüllen sich nicht färben. —

Was die Gattungen betrifft, welche — wie Sticta, Pannaria und Endocarpon — den Uebergang von der blau-grünen zur gelb-grünen Farbe vermitteln, so sind hier die

Die Fasermembran zeigt bei verschiedenen Gattungen ein abweichendes Verhalten:

a) sie bleibt von der ersten Einwirkung der Säure bis zur vollständigen Auflösung farblos oder nimmt höchstens einen äusserst schwachen bläulichen Ton an. So z. B. bei Parmelia stellaris, Umbilicaria pustulata, Gyrophora cylindrica, Endocarpon Guepini, Catopyrenium cinereum.

b) sie bleibt bei schwacher Einwirkung der Säure farblos, wird bei stärkerer Concentration gelblich, braun-gelb, oft tief-braun[*], und entfärbt sich vor der Auflösung wieder. In diesem letztern Stadium beobachtet man hie und da einen bläulichen Ton. So bei Hagenia ciliaris, Parmelia aquila, Peltigera canina und polydactyla, Solorina crocea, Nephroma arcticum, Cladonia rangiferina (stellenweis deutlich violett).

Eine entschieden blaue Färbung der Fasermembran durch vorhergehende Behandlung mit geeignet scheinenden Reagentien hervorzurufen, ist mir nicht gelungen. Sowohl Maceriren mit Kalilösung oder Salpetersäure, als wiederholtes Erhitzen mit verdünnter Salzsäure, mit Weingeist und Aether blieben ohne Erfolg[**].

4) Kupferoxydammoniak löst die Membran nicht auf, sondern verursacht höchstens ein sehr schwaches Aufquellen derselben.

11. Bemerkungen zur Systematik.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass eine naturgemässe Eintheilung der Flechten, insbesondere der laub- und gallertartigen, ohne Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse des Thallus unmöglich ist. Wenn auch im Allgemeinen feststeht, dass die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Typen sich in übereinstimmender Weise in den vegetativen wie reproductiven Geweben aussprechen,

---

unter 2) und 3) angegebenen Reactionen oft unentschieden. Eine sehr schöne blaue Färbung beobachtete ich bei Endocarpon miniatum und Pannaria hypnorum, eine viel schwächere oder auch gar keine bei Endopyrenium rufescens und Catopyrenium cinereum, ferner bei allen Sticta-Arten mit kugeligen Gonidien (Ricasolia Nyl. und Sticta Nyl.) Es sind diess alles Flechten, deren Gonidien zwar gelbgrün oder doch blass-grün aussehen, möglicher Weise aber doch durch Phycochrom gefärbt sind.

(*) Dieses mittlere Stadium der Einwirkung, die braune Färbung der Membran, hatte ich früher nicht beobachtet Ich hielt daher die Angabe Speerschneider's, der dieselbe in seiner Abhandlung über Hagenia ciliaris (Bot. Zeit. 1854 p. 593) erwähnt, für unrichtig, indem ich glaubte, sie beruhe auf einer Verwechslung des durch Jod braun gefärbten Inhaltes mit der Membran. Seitdem habe ich mich überzeugt, dass Speerschneider in diesem Punkte richtig beobachtet hatte.

(**) Nach diesen Erfahrungen erscheint es mir sehr wahrscheinlich, dass das verschiedene Verhalten der Membranen gegen Reagentien durch die Verschiedenheit der Molecularconstitution oder auch der chemischen Zusammensetzung bedingt wird, und dass die Einlagerung „incrustirender Substanzen“ bloss modificirend auf die schon ursprünglich abweichenden Eigenschaften der Membranen einwirkt.

folglich carpologische und Thallusmerkmale sich gegenseitig unterstützen, so kommt es doch nicht selten vor, dass die letztern gewisse Uebergänge und Verwandtschaftsbeziehungen entschiedener andeuten als erstere und daher in manchen zweifelhaften Fällen den Ausschlag geben.

Unter den Charakteren, welche der Thallus bietet, sind vor Allem hervorzuheben die Berindung und die Theilungsweise der Gonidien, dann die Natur des Thallusgewebes und der hypothallinischen Fasern, die Vertheilung und Farbe der Gonidien und die Wachsthumsweise. Ich habe es in der Zusammenstellung der Gattungen (s. die nächste Nummer) versucht, die in der Folge besprochenen Flechten nach den eben erwähnten Merkmalen möglichst naturgemäss zu gruppiren und insbesondere die verschiedenen Typen, seien es nun Genera oder Familien, scharf voneinander abzugrenzen. Unter Bezugnahme auf diesen Versuch beschränke ich mich hier auf einige Bemerkungen über die natürliche Verkettung der Gattungen.

Die grössere Zahl der aufgeführten Gattungen lässt sich in eine ununterbrochene Reihe bringen, in welcher jede folgende sich ungezwungen an die vorhergehenden anschliesst. Geht man von Anaptychia aus, welche den Uebergang zu den strauchartigen Formen vermittelt, so folgen nacheinander die übrigen Gattungen der Parmelieen: Parmelia, Physcia, Imbricaria. An diese reihen sich durch Vermittlung von Sticta herbacea, pallida, dissecta und der übrigen Arten, die zu den Nylander'schen Gattungen Ricasolia und Sticta gehören, die Genera Sticta und Nephroma, beide zum Theil mit typischblaugrünen Gonidien und unter sich vollkommen übereinstimmend. Folgen nun, um die Reihe der allseitig umrindeten Flechten nicht zu unterbrechen, zunächst die Pannarien, an welche die übrigen als Pannariaceen aufgeführten Gattungen sich anschliessen. Zwischen Sticta und Pannaria fehlt allerdings ein vermittelndes Glied; doch stehen P. plumbea und einige ausländische Arten, z. B. Coccocarpia aurantiaca, den Sticten nicht sehr ferne, während andererseits P. hypnorum durch die gelb-grüne Farbe der Gonidien auf die Parmelieen zurückdeutet. Von den Gattungen Lecothecium, Racoblenna, Micarea und Pterygium ist der Uebergang zu den Gallertflechten, was das Gewebe und die Anordnung der Gonidien betrifft, ein allmähliger zu nennen. Sowohl die Collemaceen mit ihren drei nahe verwandten Familien: Leptogieen, Collemeen, Arnoldieen, als die Omphalariaceen mit den Gattungen Omphalaria, Enchylium und den verwandten schliessen sich unmittelbar an diese Repräsentanten der Pannariaceen an (wie mir scheint leichter oder doch eben so leicht, als die eine Abtheilung an die andere). Nur bei der Theilung der Gonidien kommt plötzlich, wenigstens bei den Collemaceen, ein anderes Gesetz zur Geltung.

Von dieser Reihe zweigen sich an mehreren Punkten kleinere ab, deren Endglieder nach keiner Seite hin nähere Beziehungen verrathen. So von den Sticteen die Peltideaceen: Peltigera und Solorina, ausgezeichnet durch den Mangel der untern Rinde (Nephroma ist eine Sticta mit Peltideenfrucht); von den Parmelieen die Placodien, die Endocarpeen mit den Endopyrenieen und die Umbilicarieen. Bei den zwei letztern Zweigreihen fehlen indess die

Uebergangsglieder; sie müssen als abgeschnittene Posten betrachtet werden, die möglicher Weise auch an ganz andern Stellen, als den angedeuteten, ihre Ausgangspunkte hatten.

Eine ziemlich isolirte Stellung nimmt die Gattung Heppia ein. Während die in den Thallus eingesenkten Apothecien auf eine Verwandtschaft mit Solorina hindeuten, stimmen die anatomischen Verhältnisse mehr mit denjenigen der Pannarien überein.

Ueberblicken wir jetzt die Haupt- und Nebenreihen noch einmal mit Rücksicht auf die Farbennüance der Gonidien, so erscheint die blau-grüne Farbe als die entschieden vorwiegende. Gelb-grün sind bloss die Parmelieen mit den angenommenen Zweigreihen, die krustenartigen Placodieen und einzelne Repräsentanten der Sticteen, alle übrigen blau-grün. Von den Placodieen geht die gelbgrüne Reihe zu den eigentlichen Krustenflechten über, wo sie sich über den ganzen Formenkreis ausbreitet, während sie nach oben die sämmtlichen strauchartigen Flechten, Lichina ausgenommen, umfasst. Das Verhältniss der beiden Farben gestaltet sich also, wenn man das ganze Flechtengebiet überschaut, gerade umgekehrt als bei den Laub- und Gallertflechten. Das freundliche Gelbgrün zieht sich von den untersten Krusten durch alle Stufen hindurch bis hinauf zu den ellenlangen Usneen, während das veränderliche Blau-grün auf eine relativ kurze Nebenreihe beschränkt ist, die sich mit ihrem einen Endgliede (den Sticten) an die Parmelieen anlehnt, während sie mit dem andern (den Collemen) weit von den übrigen Flechten absteht.

Dass die Farbe der Gonidien für die systematische Betrachtung der Flechten keineswegs ohne Bedeutung ist, muss bei der ausserordentlichen Constanz des Merkmals Jedermann einleuchten; dass sie aber auch mit andern Eigenthümlichkeiten bei übrigens verwandten Flechten in innerem Zusammenhange steht, beweisen gerade die drei Ausnahmen, welche bei den Gattungen Pannaria, Sticta und Endocarpon vorkommen. P. hypnorum ist unter sämmtlichen Arten der Gattung die einzige, bei welcher die Gonimonschicht (wie bei den Parmelien) die Innenseite des Excipulums auskleidet und sich auf Schnitten, die nicht genau durch die Mitte gehen, ununterbrochen unter dem Hypothecium hinwegzieht. Ebenso deuten bei Sticta, ausser der Farbe der Gonidien, auch der anatomische Habitus des Rindengewebes, das Vorkommen oder Fehlen der Cyphellen, die mehr oder weniger freie Entfaltung des Lagers etc. darauf hin, dass wir es hier mit einer Formenreihe zu thun haben, in welcher mancherlei Gegensätze ihre Vermittlung finden. Endlich zeigt auch Endocarpon Guepini in seinem anatomischen Verhalten manches Eigenthümliche. — Dass übrigens die nämlichen Verschiedenheiten der Farbe auch bei den Algen vorkommen und hier schon längst ihre systematische Verwerthung gefunden haben, ist bekannt*.

(*) Es dürfte nicht ganz überflüssig sein, noch besonders hervorzuheben, dass die Farbe der Gonidien nicht etwa als ein mit den mancherlei Farbenverschiedenheiten des Thallus gleichwerthiges Merkmal zu betrachten ist. Die Farbe des Thallus wird von sehr verschiedenen Factoren bedingt, bald von der Färbung der Zellmembran durch einen eingelagerten

Die Berindung und Consistenz des Thallus betreffend, begegnen wir zweierlei Uebergängen: einmal einem allmähligen Verschwinden der untern Rinde bei den Placodieen und Endopyrenieen, wo unterseits zuweilen nur ein braunes Fasergeflecht, keine eigentliche Rinde, zur Entwicklung kommt, ferner bei Sticta amplissima, welche in dieser Beziehung den Uebergang zu den nur oberseits berindeten Peltideaceen bildet; sodann zweitens einem Uebergang zum durchgehends interstitienlosen Parenchym bei den Pannariaceen, welche ihrerseits wieder mit einzelnen Repräsentanten der Collemaceen und Omphalariaceen übereinstimmen und dadurch die Verbindung mit den typischen Gallertflechten herstellen.

So liefert also die genauere Kenntniss des Thallus auch in systematischer Beziehung schätzbare Anhaltspunkte, welche die mannigfachen Verwandtschaftsbeziehungen der Flechtentypen genauer zu verfolgen und in weit höherem Grade als der blosse äussere Habitus ein wirklich natürliches System aufzustellen und mit der Zeit immer mehr zu vervollkommnen gestatten.

Farbstoff, bald von körnigen Excretionsstoffen, die im Gewebe zerstreut sind, bald von der in den Zellen und Interstitien enthaltenen Luft, bald auch von der durchschimmernden Gonimonschicht u. s. w. Alle diese Factoren sind offenbar von sehr untergeordneter physiologischer Bedeutung; die Farbenverschiedenheiten, die sie bedingen, könnten etwa mit der verschiedenen Färbung des Kernholzes unserer Bäume oder auch der Blätter höherer Pflanzen verglichen werden.

Ganz anders verhält es sich mit der Farbe der Gonidien. Die Gonidien vermitteln eine der wichtigsten Functionen des Lebens, sie sind die assimilirenden Organe der Flechten. Wo aber im Pflanzenreich Assimilation stattfindet, steht damit die Bildung eines bestimmten Farbstoffes, und zwar innerhalb gewisser Grenzen des nämlichen, im innigsten Zusammenhang Bei den Diatomaceen ist dieser Farbstoff Diatomin, bei den Nostochaceen und Chroococcaceen Phycochrom, bei den Florideen und einigen andern Algen ein mit Chlorophyll verwandter rother Stoff, bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen Chlorophyll. Jeder von diesen Stoffen characterisirt eine grössere oder kleinere, und zwar immer sehr natürliche Abtheilung des Gewächsreiches. Wenn nun zwei derselben, Chlorophyll und Phycochrom, auch bei den Flechten vorkommen, warum sollten sie hier eine geringere systematische Bedeutung haben?

12. Zusammenstellung der Gattungen.

I. Parmeliaceae.

Thallus allseitig berindet, unterseits mit einzelnen Fasern (Hypothallus, Filzfasern) oder mit soliden Fasersträngen (Haftfasern) besetzt.

1) *Parmelieae.* Gonidien gelb-grün, Lagerunterseite mit Haftfasern.

Anaptychia, Tornabenia. Rindenschicht von beträchtlicher Dicke, mit unregelmässigem Innenrand, unterseits öfters unterbrochen, aus langzelligen vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern bestehend, im Habitus fibrös. Mark häufig mit soliden Strängen.

Parmelia. Obere Rinde von beträchtlicher Dicke, mit unregelmässigem Innenrand, dünnwandig-parenchymatisch, aus vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern bestehend. Untere Rinde fibrös (nur der braune Rand zuweilen parenchymatisch), von sehr ungleichmässiger Dicke, mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf.

Imbricaria. Rindenschicht verhältnissmässig dünn, kurzzellig-fibrös, aus vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern bestehend.

Physcia. Obere und untere Rinde dünnwandig-parenchymatisch. Zuweilen auch mit parenchymatischem Marke.

2) *Placodieae.* Gonidien gelb-grün, Lagerunterseite mit schwammigem Hypothallus.

Placodium. Obere Rinde kurzzellig-fibrös, mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern. Untere Rinde bald wie die obere, bald auf ein verworrenes vom Marke nicht deutlich abgegrenztes Fasergeflecht von sehr geringer Dicke beschränkt.

3) *Sticteae.* Gonidien blau-grün oder gelb-grün, Lagerunterseite mit Filzfasern.

Sticta. Rindenschicht parenchymatisch oder fibrös. Lagerunterseite mit Cyphellen oder weissen Flecken.

Stictina. Gonidien blau-grün, in Gruppen mit gemeinsamen Hüllen.
Ricasolia. Gonidien gelb-grün, kugelig, ohne gemeinsame Hüllen.

Nephroma. Rinde parenchymatisch. Von der vorhergehenden Gattung anatomisch nicht verschieden.

II. Peltideaceae.

Thallus nur auf der obern Seite berindet; Lagerunterseite mit isolirten Fasern oder locker geflochtenen Faserbündeln („filzig oder faserig").

4) *Peltigereae.* Gonidien blau-grün. Lagerunterseite filzig oder faserig.

Peltigera. Rinde parenchymatisch. Gonidien nur im obern Theil des Markes, eine Zone von ziemlich gleichmässiger Breite bildend. Markfasern dünnwandig, an der untern Lagerfläche gewöhnlich zu anastomosirenden Bündeln (Adern) locker verflochten. Unterseits durchgehends unberindet.

Solorina. Rinde parenchymatisch, mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen. Gewöhnlich mit Gonidiennestern unterhalb der eigentlichen Gonimonschicht. Auf der Unterseite an den den Apothecien entsprechenden Stellen berindet. Im Uebrigen wie Peltigera.

III. Umbilicariaceae.

Thallus ober- und unterseits berindet, mittelst einer Haftscheibe befestigt, unterseits nackt oder mit Haftfasern, nie filzig. — Habituell sehr ausgezeichnet.

5) *Umbilicarieae.* Gonidien gelb-grün; Lagerunterseite mit grössern oder kleinern Unebenheiten, zuweilen mit Haftfasern.

Umbilicaria. Rinde parenchymatisch, mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen, unterseits in den den blasigen Auftreibungen der Oberfläche entsprechenden Gruben fibrös oder unterbrochen. Thallus einblättrig, auf der Unterseite mit kleineren Unebenheiten, weder filzig noch faserig.

Gyrophora. Obere Rinde parenchymatisch oder fibrös, im erstern Falle mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen. Untere Rinde fibrös, von sehr ungleichmässiger Dicke, oberflächlich glatt oder unregelmässig zackig, zuweilen mit Haftfasern.

IV. Endocarpaceae.

Thallus ober- und unterseits berindet, mit oder ohne Haftscheibe, unterseits glatt oder mit lockerem Faserfilz (Hypothallus), nie mit Haftfasern. Gonidien gelb-grün, nur bei Endocarpon Guepini blau-grün.

6) *Endocarpeae.* Thallus laubartig, mittelst einer Haftscheibe auf der Unterlage befestigt; unterseits glatt, selten filzig.

Endocarpon. Rinde parenchymatisch, mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen.

7) *Endopyrenieae.* Thallus krustenartig, ohne Haftscheibe, unterseits filzig.

Endopyrenium. Catopyrenium. Obere Rinde parenchymatisch, mit senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen; untere Rinde bald parenchymatisch, bald fibrös, meist ohne scharfe Abgrenzung nach innen. Mark dünnwandig-fibrös, zuweilen locker-parenchymatisch.

Placidium. Lenormandia. Obere Rinde parenchymatisch, ohne ausgesprochene Reihenbildung, bis zur Oberfläche farblos (nicht braun gefärbt). Untere Rinde nur stellenweise entwickelt und dann fibrös mit engen Zellhöhlungen und vorherrschend longitudinalem Faserverlauf. — Im microscopischen Habitus von den vorhergehenden Gattungen auffallend verschieden.

V. Pannariaceae.

Thallus bald laubartig und dann allseitig umrindet (unterseits wenigstens abgegrenzt), bald strauchartig oder krustenartig und dann durchgehends interstitienlos. Gonidien blau-grün, öfters zu scheinbaren Ketten gruppirt, auf der Lichtseite des Thallus eine breite, meist weit über die Mittellinie vorspringende Zone bildend, zuweilen fast gleichmassig auf die ganze Dicke der Markschicht vertheilt. Lagerunterseite mit oder ohne Hypothallus. — Bilden den Uebergang zu den eigentlichen Gallertflechten.

8) *Pannarieae.* Gonidien blau-grün, nur bei *P. hypnorum* gelbgrün, in Gruppen, welche durch Theilung nach verschiedenen Richtungen des Raumes entstehen, zuweilen mit gallertartig verdickten Membranen. — Durch die Vermehrungsweise der Gonidien von den Collemaceen und Omphalariaceen verschieden*.

• Gymnocarpi. Thallus laub- oder krustenartig.

Pannaria. Obere Rinde parenchymatisch. Mark dünnwandig-fibrös, im untern Theil gonidienlos. Untere Rinde bald parenchymatisch, bald fibrös, aus dünnwandigen, vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern bestehend.

Micaraea. Thallusschüppchen durch und durch parenchymatisch. Gonidien ziemlich gleichmässig auf den ganzen Durchmesser vertheilt. Ohne Hypothallus.

Lecothecium. Thallusschüppchen maschig-parenchymatisch, in den Maschen gonidienführend. Gonidien in Gruppen oder durch theilweise Trennung in vielgliedrigen Ketten. Mit einem wahren Protothallus.

(*) Eine weiter gehende Eintheilung der Pannarieen ist ohne Herbeiziehung der carpologischen Merkmale nicht wohl möglich, da bei den krustenartigen Formen, deren Lager aus kleinen corallinischen Schüppchen besteht, weder von bestimmten Wachsthumstypen, noch von irgend einer Differenzirung der Gewebe die Rede sein kann. Es fehlen sogar die Anhaltspunkte, um die verschiedenen Gattungen scharf und sicher von einander zu unterscheiden.

Racoblenna. Thallusschüppchen maschig-parenchymatisch, in den Maschen gonidienführend. Gonidien in Gruppen oder durch theilweise Trennung in vielgliedrigen Ketten. Lagerkruste rissig-gefeldert.

Pterygium. Lagerkruste körnig-schuppig, am Rande radial gefurcht und effigurirt. Im Uebrigen wie Racoblenna.

* * *

Heppia. Thallus durchgehends parenchymatisch oder im mittleren Theil dünnwandig-fibrös, mit senkrecht von unten nach oben verlaufenden Fasern. Unterseits stets deutlich abgegrenzt, oft mit schön-parenchymatischer Rinde. Gonidien meist ziemlich gleichmässig durch die ganze Markschicht zerstreut, seltener im oberen Theil entschieden vorwiegend.

• • Angiocarpi. Thallus strauchartig.

Lichina. Thallus berindet mit Gonidienketten (s. den ersten Theil). Bildung der letzteren wie bei Racoblenna.

VI. Ephebaceae.

Thallusspitzen (resp. Thallusfäden) aus einer einzigen von Fasern umschlossenen Gonidienreihe gebildet; letztere mit selbstständigem Scheitelwachsthum durch wiederholte Quertheilung der Endzelle.

9) *Ephebeae.* Aelterer Thallus ein interstitienloses Filzgewebe mit eingebetteten Gonidien in rundlichen, von Fasern durchflochtenen Gruppen.

• Angiocarpi.

Ephebe. Thallus rindenlos; Gonidien vorzugsweise im peripherischen Theil.

• • Gymnocarpi.

Spilonema. Thallus wie bei Ephebe.

Gonionema. Thallus wie bei Ephebe.

10) *Coenogonieae.* Thallusfäden zeitlebens aus einer einzigen, confervenartigen Gonidienreihe bestehend, welche von feinen, vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern (gewöhnlichen Flechtenfasern) umsponnen erscheint.

Coenogonium. Thallusfäden zu einem lockern, im Gesammtumriss fächerförmigen Filzgewebe verflochten.

VII. Collemaceae.

Thallus durchweg interstitienlos, meist mit gallertartig verdickten und zu einer homogenen Pulpa verschmolzenen Zellmembranen oder äussern Membranschichten. Gonidien gleichmässig durch die ganze Markschicht zerstreut oder doch symmetrisch zu beiden Seiten der Mittellinie, in vielgliedrigen, durch wiederholte Theilung in derselben Richtung gebildeten Ketten.

11) *Leptogieae*. Thallus beiderseits berindet. Rinde parenchymatisch. Gonidienketten mit Grenzzellen.

* Gymnocarpi.

Leptogium. Lagerunterseite glatt.

Mallotium. Lagerunterseite filzig.

* * Angiocarpi.

Obryzum. Thallus wie bei Leptogium.

12) *Collemeae*. Thallus beiderseits rindenlos. Gonidienketten mit Grenzzellen.

Collema.

Synechoblastus.

13) *Arnoldieae*. Thallus beiderseits rindenlos. Gonidienketten mit Copulationszellen, zuweilen überdiess mit Grenzzellen.

Arnoldia (Plectospora).

Lempholemma.

VIII. Omphalariaceae.

Gonidien in kugeligen Gruppen mit dichotomisch verzweigten Stielen, gebildet durch abwechselnde Theilung nach zwei oder drei senkrecht sich kreuzenden Richtungen. Im Uebrigen wie die Collemaceae.

14) *Omphalarieae*. Thallus beiderseits rindenlos.

* Gymnocarpi.

Omphalaria (Thyrea).

Enchylium (Corynophorus, Synalissa).

Psorotichia.

* * Angiocarpi.

Phylliscum. Thallus fibrös, nicht immer interstitienlos, ohne „intercellulare“ Pulpa. Gonidien meist mit deutlich geschichteter Membran, ohne gemeinsame Hüllen.

Anaptychia. Tornabenia.

Wenn man die zahlreichen Arten der alten Gattung Parmelia auf die nachfolgend characterisirten neueren vertheilt, so bleiben einige wenige übrig, welche mit keiner derselben vereinigt werden können, die aber unter sich eine sehr ausgesprochene natürliche Verwandtschaft zeigen. Die einen stimmen überdiess so auffallend mit Hagenia ciliaris überein, dass ich keinen Augenblick zögerte, sie schon im ersten Theil als zum Typus Hagenia gehörig aufzuführen; die andern, obwohl übrigens sehr nahe verwandt, glaubte ich wegen der allseitigen Umrindung des Thallus als besondern Typus aufstellen zu müssen. Nachdem sich nun aber durch die seither angestellten Untersuchungen herausgestellt hat, dass eine scharfe Grenze zwischen allseitiger und theilweiser Berindung nicht gezogen werden kann, indem verschiedene Exemplare der nämlichen Art in dieser Beziehung sich ungleich verhalten*, so trage ich kein Bedenken, alle erwähnten Arten mit Hagenia ciliaris als Repräsentanten eines Typus zusammenzustellen und eine weiter gehende, auf carpologische Merkmale sich stützende Eintheilung den Lichenologen vom Fach zu überlassen.

Die Characteristik dieses Typus bleibt natürlich im Wesentlichen die von Hagenia; sie mag hier in gedrängter Kürze noch einmal Platz finden:

Thallus vollständig oder theilweise umrindet, stets mit ausgesprochenem Gegensatz zwischen unten und oben. Rindenschicht von beträchtlicher Dicke, mit sehr unregelmässig vorspringendem Innenrand, aus langzelligen, mehr oder minder verworren verfilzten, jedoch vorherrschend longitudinal verlaufenden Fasern bestehend; im anatomischen Habitus entschieden fibrös. Markschicht lockerfilzig, mit oder ohne solide Stränge; letztere nicht selten in grösserer Zahl und im Querschnitt hie und da eine Brücke von einer Rinde zur andern bildend, oder bei theilweiser Umrindung auf der Lagerunterseite zu einem dichtfilzigen, rindenartigen Gewebe verschmolzen. Gonidien gelb-grün, vorzugsweise im obern Theil des Markes. Haftfasern (wie bei Imbricaria u. a.) ein durch und durch interstitienloses Filzgewebe.

Die hieher gehörigen Arten lassen sich, soweit sie mir bekannt sind, in folgender Weise gruppiren**.

(*) Auf Querschnitten durch die Thalluslappen von Hagenia ciliaris und Parm. speciosa, bei welchen unterseits die Rinde in der Mehrzahl der Fälle auf einer grössern oder kleineren Strecke unterbrochen ist, beobachtet man nicht selten auf der ganzen Lagerunterfläche ein ziemlich dichtfilziges, wenn auch nicht gerade interstitienloses Gewebe, das sich nach innen in kleinere oder grössere solide Stränge auflöst und dadurch allmälig in das lockere Markgeflecht übergeht. Ich habe zu wiederholten Malen Schnitte beobachtet, welche mit Parm. aquila, wo derselbe allmählige Uebergang zwischen Mark und unterer Rinde wahrgenommen wird, auffallend übereinstimmen.

(**) Von den nachstehend angeführten Arten besitzen bekanntlich die zwei letzten: Parm. chrysophthalma und Evernia flavicans zweizellig-farblose Sporen mit dicker Scheidewand (wie P. parietina), Parm. carnosa zweizellig-farblose mit dünner Scheidewand, alle übrigen zweizellig-braune mit dünner Scheidewand.

1) Thallus unvollständig umrindet; Mark ohne solide Stränge. Physcia villosa Schaer. Ph. leucomelas (L.).
2) Mark unterseits mit mehr oder minder zahlreichen, nicht selten zu einem rindenartigen Gewebe verschmolzenen soliden Strängen. Hagenia ciliaris (L.) Parmelia speciosa Wulf.
3) Thallus stets vollständig umrindet. Parmelia carnosa*, Parm. aquila Ach (Taf. VIII Fig. 14), Parm. chrysophthalma Ach., Evernia flavicans Sw. (?).

Parmelia Kbr.

Die hieher gehörigen Flechten unterscheiden sich von den übrigen Parmeliaceen schon durch ihren etwas abweichenden Faserverlauf, welcher im Allgemeinen nach vorn und oben gerichtet ist (vgl. Taf. XI Fig. 1), insbesondere aber durch die parenchymatische obere und die nicht parenchymatische untere Rinde.

Die Fasern verlaufen im ganzen untern Theil des Thallus, mit Ausnahme des braunen Randes, vorherrschend in radialer Richtung parallel der Oberfläche; zwischen den Gonidiengruppen dagegen und auf der ganzen Lichtseite des Thallus streben sie senkrecht nach oben. Ihre kurzen dünnwandigen Zellen bilden hier durch dichtes Aneinanderschliessen das schöne Parenchym der oberen Rinde. Das Marginalwachsthum ist durch diesen Faserverlauf hinreichend bestimmt: die Faserenden wachsen in der Krümmung des Randes nach vorn und nach oben.

An der untern Fläche des Thallus bilden die zahlreichen Verästlungen der Fasern ein verworrenes, meist (wahrscheinlich immer?) interstitienloses Geflecht, welches überdiess durch die Kürze der Zellen und die mehr oder minder starke braune Färbung der Membranen sich vom tiefer liegenden Markgewebe unterscheidet. Auf dieses braune Randgeflecht, das oft kaum eine Dicke von 8 — 12 Mik. erreicht, ist stellenweise — oder wenn der ganze Thallus sehr dünn ist, auch durchgängig — die untere Rinde beschränkt. An andern Stellen dagegen sind auch die längsverlaufenden Fasern bis auf eine Entfernung von 20—30 Mik.

(*) Parmelia carnosa Schaer. (Massalongia carnosa Kbr. Syst. p. 109 comm. Hepp) wird bekanntlich von den meisten Lichenologen, neuerdings auch von Körber, in die Nähe der Pannarien gebracht. Ob diese Stellung in den carpologischen Merkmalen begründet sei, will ich hier nicht genauer erörtern; dagegen glaube ich noch besonders hervorheben zu müssen, dass der Thallus vollkommen dem Typus der Anaptychien entspricht und in keiner Weise von der oben gegebenen Characteristik abweicht. Von der untern Lagerfläche gehen, ganz wie bei den übrigen Arten, solide Faserstränge, wirkliche Haftfasern ab, welche mit dem Faserfilz der Pannarien nicht wohl zu verwechseln sind. Wie dessenungeachtet in systematischen Werken von einem Protothallus die Rede sein kann, aus welchem der Thallus hervorgehen soll, ist mir geradezu unbegreiflich.

Ich bemerke noch, dass die mir von Herrn Dr. Hepp mitgetheilte Flechte auch von Herrn von Krempelhuber als die ächte M. carnosa bezeichnet wurde.

vom Rande zu einem vollkommen interstitienlosen Gewebe verflochten, welches dann ebenfalls als Rindengewebe betrachtet werden muss (Taf. VIII Fig. 1, 2).

Die auf diese Weise verdickte untere Rindenschicht ist indessen vom luftführenden Marke nie so schroff abgegrenzt, als diess bei den folgenden Gattungen Sticta und Imbricaria der Fall ist. Vielmehr beobachtet man im innern Theil, wo sie in das wegen seines Luftgehaltes unter dem Microscop dunkel erscheinende Mark übergeht, einzelne oder auch zahlreichere luftführende Zwischenräume, regellos in dem übrigens vollkommen dichtfilzigen Gewebe zerstreut, so, dass von einer bestimmten Scheidelinie zwischen dem lockerfilzigen Marke und der interstitienlosen Rinde nicht die Rede sein kann. — Die ursprünglich kleinen Höhlungen der Faserzellen dehnen sich später mehr oder weniger aus und sind dann im trockenen Zustande zum grössern Theil mit Luft gefüllt; doch erhält das Gewebe nie, oder doch nur im braungefärbten Theil, ein parenchymatisches Aussehen.

Die obere Rinde erreicht eine Dicke von 40—60 Mik. Der Innenrand derselben zeigt gewöhnlich ziemlich unregelmässige Umrisse; er springt namentlich bei P. stellaris stellenweise weit gegen das Mark vor, während er an andern Stellen bis auf 10 Mik. die Oberfläche erreicht (Taf. VIII Fig. 1, 2). In dem schönen Rindenparenchym, dessen Zellen 10 — 12 Mik. im Diameter erreichen, beobachtet man hie und da kleinere oder grössere, annähernd senkrecht zur Oberfläche verlaufende Zellreihen, welche sich bei genauerem Studium als von successiven Zellen derselben Faser gebildet erweisen. — Uebrigens sind auch die Scheidewände zwischen den Zellen benachbarter Fasern im Verhältniss zur Grösse des Lumens gewöhnlich so dünn, dass ein in beliebiger Richtung geführter Schnitt, wobei die Fasern bald quer, bald schief geschnitten werden, immer so ziemlich dasselbe Bild gewährt.

In der Nähe des Thallusrandes sind die Zellhöhlungen etwas kleiner, als weiter von demselben entfernt; zunächst der Oberfläche überdiess immer kleiner als im Innern. Der erstere Umstand ist eine Folge des intercalaren Wachsthums durch Ausdehnung der Zellen; der letztere — bei ähnlichen Geweben eine gewöhnliche Erscheinung — erklärt sich aus der häufigeren Verästlung der peripherischen Rindenfasern. Der braune Rand, dessen Färbung, wie gewöhnlich, auf der Einlagerung des Farbstoffes in die Zellmembran beruht, erscheint auf Durchschnitten durch den älteren Thallus bis auf einige Mik. Tiefe ausgebleicht und abgestorben.

Die Gonidien liegen unmittelbar unter der obern Rinde; sie bilden hier bald eine zusammenhängende Schicht, bald grössere oder kleinere Gruppen oder Nester, zwischen welchen die Rinde nach innen vorspringt.

Die Haftfasern der untern Thallusfläche sind Adventivbildungen, welche mit den Wimpern von Hagenia ciliaris vollkommen übereinstimmen. Sie sprossen aus der untern Rinde hervor und bestehen aus einem interstitienlosen Gewebe vorherrschend longitudinal verlaufender Fasern, von denen die oberflächlichen eine braun gefärbte Membran besitzen.

Die hieher gehörigen Arten (P. stellaris, caesia, pulverulenta, obscura, propinqua) weichen bloss mit Rücksicht auf die grössere oder geringere Dichtigkeit des Markgeflechtes von einander ab, doch lässt sich hienach wohl keine derselben mit Sicherheit von den übrigen unterscheiden. Ebenso scheint auch die Unregelmässigkeit des innern Conturs der obern Rinde, welcher oft weit gegen das Mark vorspringt, während er an andern Stellen beinahe die Oberfläche berührt, kein constantes Merkmal zu sein.

Imbricaria Kbr.

Die Thallusmerkmale der Imbricarien fordern ebenso entschieden, als die carpologischen die Aufstellung derselben als besondere Gattung. Sie unterscheiden sich von Parmelia, mit welcher sie früher verschmolzen wurden, auf den ersten Blick durch den anatomischen Character der Rindenschicht, welche hier auf der obern wie auf der untern Seite des Lagers aus einem mehr oder minder verworrenen Geflecht kleinzelliger, dickwandiger Fasern besteht (etwa wie bei Cladonia, s. l. Taf. VI Fig. 26) und überdiess beiderseits eine ziemlich gleichmässige Dicke und dieselbe Physiognomie besitzt (Taf. VIII Fig. 3, 4).

Der Faserverlauf erweist sich auf Durchschnitten durch den Thallusrand als ein vorherrschend orthogonal-trajectorischer, und zwar tritt derselbe um so schöner und deutlicher hervor, je lebhafter das Marginalwachsthum. Im mittleren Theil des Thallus wachsen also die Fasern, obgleich vielfach verflochten und verästelt, doch vorherrschend in der Längsrichtung der Lappen; nach oben und nach unten biegen sie bogenförmig gegen die Oberfläche aus, wo sie durch dichtes Aneinanderschliessen der Enden die Rindenschicht bilden. Demzufolge ist der Thallus, abgesehen von der einseitigen Lage der Gonidien und der Haftfasern der Unterfläche, zu beiden Seiten der Mittellinie ziemlich symmetrisch gebildet.

Die obere Rinde ist im Verhältniss zur Thallusdicke gewöhnlich sehr dünn, oft nur 10 — 12, selten über 20 — 24 Mik. dick. Da die Fasermembranen beträchtlich verdickt, die Lumina der Zellen dagegen fast verschwindend klein sind (wenigstens wenn das Präparat in Wasser liegt), so erscheint das Gewebe, insofern es nicht von fremdartigen Substanzen (Farbkörperchen etc.) incrustirt wird, unter dem Microscop ganz hell und bei mässiger Vergrösserung vollkommen homogen. Um die einzelnen Fasern und ihre Verästlungen zu verfolgen, ist es daher nöthig, den Inhalt der Zellen mit Jod zu färben; man überzeugt sich alsdann, dass die Fasern der jüngeren Rinde trotz ihrer Verfilzung und der mancherlei Unregelmässigkeiten, welche die wiederholte Verästlung hervorruft, doch immer noch vorherrschend in der Richtung von innen nach aussen verlaufen, dass sie gleichsam strauchartig dem Lichte entgegenwachsen. Mit zunehmender Entfernung vom Rande ändert sich freilich in Folge der intercalaren Wachsthumserscheinungen, besonders bei Arten mit dickerer Rinde, der Character des Gewebes; es treten zahlreiche schief und tangential verlaufende Fasern auf, welche demselben eine an Fig. 16 auf Taf. V (I. Theil) erinnernde Physiognomie verleihen. Bei einigen Arten erweitert sich das Lumen der Zellen, jedoch nie in dem Grade, dass aus dem ursprünglichen Fasergeflecht ein Parenchym würde. Auf Durchschnitten durch den älteren Thallus erscheint überdiess der oberflächliche Theil der Rinde abgestorben. Der hiedurch veranlasste Verlust wird indessen durch die fortdauernde Verästlung der Rindenfasern wieder ersetzt, so dass die lebenskräftige Rinde immer ungefähr dieselbe Dicke besitzt.

Zwischen die Rindenfasern sind zuweilen, so bei I. incurva, caperata u. a. kleine längliche Körperchen eingelagert, welche in ihrem Verhalten mit den schon im ersten Theil erwähnten ähnlichen Bildungen bei Evernia vulpina, Cetraria straminea etc. übereinstimmen. Wo diese Körperchen in grosser Zahl vorkommen, erscheint das Gewebe in Wasser auch auf dünnen Schnitten dunkel, wird jedoch nach Zusatz von Kali, welches dieselben auflöst, sogleich hell.

Ausnahmsweise kommt auch der Fall vor, dass die obere Rinde nicht eigentlich zur Entwicklung kommt, indem die lebhafte Vermehrung der Gonidien, verbunden mit Soredienbildung, das Verschmelzen der nach oben wachsenden Fasern zu einem interstitienlosen Gewebe verhindert. So bei I. aleurites Ach., wo die Gonidien sozusagen an der Oberfläche liegen.

Die untere Rinde stimmt im Wesentlichen mit der oberen überein. Die vorwiegende Richtung der Fasern steht auch hier — wenigstens in der Nähe des Randes — senkrecht zur Oberfläche und fällt sogar durchschnittlich noch deutlicher, bei einigen Arten auch ohne Zusatz von Jod sogleich in die Augen. Sie wird erst später durch die neu hinzukommenden Verästlungen, von denen viele in longitudinaler Richtung verlaufen, mehr und mehr verdrängt. Die Dicke der Rindenschicht schwankt bei den verschiedenen Arten zwischen 8 und 24 Mik. Bei den einen stimmt dieselbe auch hierin mit der obern Rinde überein, bei andern ist sie beträchtlich dünner, zuweilen kaum halb so dick als diese. Wo die untere Rinde nur das Minimum der Dicke von 8—10 Mik. erreicht, besteht sie meist nur aus einer einzigen Schicht von Zellen. Wenn sich das Lumen dieser letztern etwas erweitert, was keineswegs selten vorkommt, so erinnert sie auf zarten Durchschnitten an die Epidermis höherer Pflanzen oder an die parenchymatische Rindenschicht der Leptogien. Das intercalare Flächenwachsthum einer solchen Rindenschicht kann natürlicher Weise nur durch Verzweigung der Faserenden in tangentialer Richtung vermittelt werden, und man überzeugt sich durch jede beliebige Flächenansicht, dass ein solcher Vorgang wirklich stattfindet (Taf. VIII Fig. 5).

Der Raum zwischen oberer und unterer Rinde, welcher je nach der Dicke des Thallus (60—300 Mik.) grösser oder kleiner ausfällt, wird von dem lockern, lufthaltigen Markgeflecht ausgefüllt, in dessen oberem Theil die Gonidien liegen. Wie schon erwähnt, verlaufen die Markfasern vorherrschend in der Längsrichtung der Lappen und biegen nach oben und unten gegen die Rindenschicht aus. Ihre Zellen sind nur in der Nähe des Randes ziemlich kurz, besonders bei lebhaftem Marginalwachsthum, weiter im Innern dagegen stets mehr oder weniger lang gestreckt (30—60 Mik.). —

Die Haftfasern der untern Thallusfläche stimmen mit denen von Parmelia vollkommen überein. Es sind Bündel vorherrschend longitudinal verlaufender Fasern, die zu einem interstitienlosen Gewebe verflochten sind und von denen die oberflächlichen durch ihre braun gefärbte Membran sich auszeichnen.

Die untersuchten Arten dieser Gattung sind folgende:

• Ochroleucae.

Imbricaria incurva Pers. Obere Rinde circa 24 Mik. dick, mit kleinen in Kali löslichen Körperchen zwischen den Rindenfasern, daher auf Durchschnitten in Wasser ganz dunkel. Untere Rinde von ungefähr gleicher Dicke, ohne körnige Einlagerungen, oberflächlich braun gefärbt.

I. centrifuga L. Obere Rinde 12 — 20 Mik. dick, wegen körniger Einlagerungen in Wasser dunkel. Untere Rinde von ungefähr gleicher Dicke, aus senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden, fast pallisadenartig nebeneinander stehenden Fasern gebildet. Thallus in der Nähe des Randes 200—300 Mik. dick.

I. conspersa Ehrh. Obere und untere Rinde c. 16 — 20, selten 24 Mik. dick, beide ohne körnige Einlagerungen. Dicke des Thallus beispielsweise 180 Mik.

I. Mougeotii Schaer. Rinde beiderseits nicht über 8—12 Mik. dick.

I. caperata Dill. Rinde beiderseits 8 — 12 Mik. dick, die obere wegen körniger Einlagerungen in Wasser dunkel.

I. sinuosa Sm. Obere Rinde c. 12 Mik. dick, wie mir scheint mit Interstitien, untere 12—16 Mik., interstitienlos.

I. Hottentotum Ach. Univ. p. 456. Obere Rinde 20 - 40 Mik. dick, zwischen den Gonidiengruppen nach innen vorspringend, zunächst der Oberfläche mit eingelagerten in Kali löslichen Körperchen. Untere Rinde kaum 20 Mik. dick, mit schwarz-braunem Rande. Markfasern fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickt.

• • Glaucescentes.

I. perforata Ach. Rindenschicht c. 8 — 12 Mik. dick, interstitienlos. Thallus beispielweise 80 — 100 Mik.

I. perlata L. Rinde beiderseits c. 12 Mik. dick, interstitienlos. Thallus 80 — 200 Mik. und darüber.

I. sanguinea (Cetraria sanguinea Schaer. Manuscr. Zollinger Cat. Nr. 449_b). Eine typische Imbricaria! Obere Rinde 20 Mik. dick, ohne körnige Einlagerungen; untere Rinde c. 12 — 16 Mik. dick, durchgehends braun.

I. saxatilis L. Obere Rinde 24—30 Mik. dick, zuweilen mit verschiedengestaltigen Prolificationen, welche mit denen von Evernia furfuracea vollkommen übereinstimmen. Sie bestehen wie diese aus vielfach verästelten Fasern, von denen die peripherischen eine Art Rindenschicht bilden, während der mittlere Theil des Gewebes lockerfilzig und luftführend ist und zahlreiche Gonidien einschliesst.

I. aleurites Ach. Eine eigentliche obere Rindenschicht ist hier nicht vorhanden, da die Gonidien stellenweise sozusagen an der Oberfläche liegen und dann meist Soredien bilden. Daher rührt denn auch das bestäubte Aussehen der oberen Lagerfläche. Untere Rinde etwa 12 Mik. dick, ohne Interstitien, auf dicken Schnitten schwach bräunlich, auf dünnen farblos.

I. ambigua Schaer. Rindenschicht c. 8—10 Mik. dick, Thallus 60 Mik. Ob die obere Rinde interstitienlos, ist mir zweifelhaft.

I. physodes L. var. terebrata. Untere Rinde 8—10 Mik. dick, stellenweise aus einer einzigen Zellschicht bestehend, deren Flächenansicht auf Taf. VIII Fig. 5 dargestellt ist. Obere Rinde etwas dicker. — Es ist wohl überflüssig zu bemerken, dass die beiderseitige Berindung des Lagers, auf welche Körber (S L. G. p. 76) aufmerksam macht, keineswegs ein besonderes Merkmal für einige wenige Arten bildet, sondern in gleicher Weise allen Imbricarien zukommt. Ebensowenig kann von einer Trennung der oberen und unteren Rinde die Rede sein, da die beiden Schichten an den Rändern der Lappen ohne Unterbrechung ineinander übergehen. Dagegen ist es allerdings richtig, dass die untere Rinde sich leicht von der darüber liegenden Markschicht ablöst und dadurch die Anfertigung unverletzter Durchschnitte erschwert.

*** Fuscescentes.

I. Acetabulum Neck. Obere Rinde 20—34 Mik. dick, untere 8—10 Mik.

I. olivacea L. Rindenschicht 8—10 Mik. dick.

I. fahlunensis L. Rinde ausnahmsweise 30—40 Mik. dick, im ältern Thallus mit beträchtlich erweiterten Zellhöhlungen (Taf. VIII Fig. 6).

Physcia Kbr.

(Parmelia parietina Ach.)

Diese vielgestaltige Flechte unterscheidet sich von den beiden vorhergehenden Gattungen durch die parenchymatische obere und untere Rinde; sie ist überdiess durch die häufig auch im Marke hervortretende Neigung zur Parenchymbildung characterisirt.

Die anatomischen Verhältnisse des Thallus zeigen übrigens bei den verschiedenen Formen und Entwicklungsstadien nicht unwesentliche Abänderungen, wie sich bei dem veränderlichen, zuweilen sogar krustenartigen Habitus kaum anders erwarten lässt. Wo eine vollständige Differenzirung der Rinden- und Markschicht stattgefunden hat, was z. B. bei den breitlappigen Varietäten immer der Fall ist, erscheint die erstere auf senkrecht zur Oberfläche geführten Durchschnitten als ein schönes, vollkommen interstitienloses Parenchym, das aus 3—4 oder auch mehr Zellschichten besteht und an den Rändern in halbkreisförmigem Bogen von der einen Seite des Lagers sich zur andern hinüberzieht. Die einzelnen Zellen sind so innig mit den benachbarten verwachsen und dabei nach allen Seiten so gleichmässig begrenzt, dass es unmöglich ist, den Verlauf der Fasern, denen sie angehören, zu verfolgen oder auch nur 2 oder 3 successive Zellen der nämlichen Faser als solche zu erkennen. Ein Unterschied zwischen oberer und unterer

Rinde macht sich nur in sofern geltend, als erstere an der Oberfläche ziemlich intensiv gelb gefärbt, letztere dagegen farblos ist (VIII, 10, 13).

Die Haftfasern, welche aus der untern Rinde hervorsprossen, stimmen mit denen der vorhergehenden Gattungen überein; nur sind die Lumina der Zellen durchschnittlich grösser und die Zellwandungen weniger verdickt. Auch ist die Membran der oberflächlichen Zellen weniger intensiv oder auch gar nicht gefärbt.

Das von der Rinde umschlossene Mark wird, wie gewöhnlich, von verästelten, locker verfilzten Fasern gebildet, die sich meist durch die geringere Verdickung der Membran und das grössere Lumen der Zellen von den Markfasern der übrigen Parmeliaceen unterscheiden. Sie gehen selbstverständlich nach oben und nach unten in die Rinde über, können indess aus dem schon angeführten Grunde nie weiter als bis zum Ansatz an den Innenrand derselben verfolgt werden.

Auf der Lichtseite des Markes, unmittelbar unter der oberen Rinde, liegen die Gonidien. Sie bilden eine ziemlich ununterbrochene grüne Zone, sind wohl auch stellenweise zu grössern Gruppen vereinigt. Man beobachtet häufig solche, die sich in 2, 4, 6 und mehr Zellen getheilt haben und noch von einer gemeinsamen Membran umgeben sind (VIII, 10, 11). — Die Soredien, welche bekanntlich nie an der Oberfläche, sondern nur an den Rändern der Lacinien hervorbrechen, besitzen eine parenchymatische Hülle, die in der schon früher angegebenen Weise durch Verästlung dünnwandiger kurzzelliger Fasern gebildet wird, deren Zellen sich allseitig dicht an einander anschliessen (VIII, 12). Der Verlauf der einzelnen Fasern lässt sich übrigens hier ebenso wenig, als in der Rinde, genau verfolgen und können überhaupt die Wachsthumserscheinungen, welche die Vermehrung der Soredien bedingen, nur durch sorgfältige Vergleichung analoger Vorgänge bei Soredien mit fibrösen Hüllen ermittelt werden. Wenigstens war es mir früher, bevor ich die Entwicklungsgeschichte der Soredien bei den strauchartigen Flechten kennen gelernt hatte, nicht gelungen, über die Vermehrung derselben bei Physcia parietina in's Klare zu kommen. Später, nachdem der leitende Faden gefunden, war es freilich nicht mehr schwer, die Geltung desselben Gesetzes auch für diese Flechte nachzuweisen. Untersucht man nämlich grössere Anhäufungen von Soredien, z. B. die bekannten grünen Anflüge auf Baumrinden, so sieht man sogleich, dass dieselben aus grössern oder kleineren Massen eines parenchymatischen Gewebes bestehen, in welches zahlreiche Gonidien und Gonidiengruppen eingebettet sind. Zerreibt man diese Massen durch Verschieben des Deckgläschens, so findet das Zerfallen in kleinere Stücke meist in der Weise statt, dass jedes Gonidium und jede Gonidiengruppe die sie umschliessende parenchymatische Hülle behält. Betrachtet man nun diese isolirten Soredien, d. h. die einzelnen grünen Zellen und Zellgruppen mit den zugehörigen Faserzellen, etwas genauer, so bemerkt man unter zahlreichen in Theilung begriffenen Gonidien auch solche, deren Tochterzellen annähernd Kugelform angenommen und einen Durchmesser von c. 8 — 10 Mik. erreicht haben, dabei aber doch ihre ursprüngliche Lage beibehalten und sich gegenseitig unmittelbar berühren. Bei andern ähnlichen Gruppen dagegen, die offenbar ebenfalls durch Theilung entstanden sind, da sie noch deutlich die entsprechende Anordnung zeigen, sind die Tochter-

zellen stellenweise bereits durch zarte farblose Zellen, welche mit der umg
den Hülle in Verbindung stehen, von einander geschieden. Wenn diese far
Zellen in noch grösserer Zahl auftreten und die grünen Tochterzellen e
allseitig umgeben, so erscheint jede der letzteren von einer ähnlichen Hülle
schlossen, wie sie die ganze Gruppe besitzt. Nun lässt sich freilich durch d
Beobachtung nicht bestimmen, ob diese Hülle in gleicher Weise, wie bei üb
Soredien, bloss durch Verästlung und Quertheilung der Faserzellen sich au
da auch die zartesten Durchschnitte (welche am leichtesten zu erhalten
wenn man Soredienanflüge in Gummi eintrocknen lässt) keinen weitern Aufs
geben, als dass die farblosen Zellen zuerst im peripherischen Theil der Goni
gruppe, erst später im Innern auftreten. Allein bei der nahen Verwandt
unserer Flechte mit den übrigen Parmeliaceen und dem übereinstimmenden
halten der Soredien in allen wesentlichen, der Beobachtung zugänglichen Pu
scheint mir die obige auf Analogie gegründete Deutung der Vorgänge, die
nicht direct verfolgen lassen, hinreichend gerechtfertigt.

Ueber die weiteren Wachsthumsverhältnisse des Thallus und seine Bezie
zum Substrat beschränke ich mich auf folgende Bemerkungen. Bekanntlich g
die Lappen der Rosetten, wie diess bei allen breitlappigen Flechten der Fa
mit ihren seitlichen Rändern übereinander. Die Ursache dieser Erscheinung
indess nur bis zu einem gewissen Abstand von der Peripherie in die Augen
liegt selbstverständlich in dem Umstande, dass die Breitendimension der La
in stärkerem Verhältniss zunimmt als der gegenseitige Abstand der Radien,
mit andern Worten: dass die durch Gabelung entstehenden Zweiglappen in
Punkten ihres Umfanges, also auch in dem einspringenden Winkel, in wel
sie anfänglich zusammenstossen, ein lebhaftes Marginalwachsthum besitzen u
Folge dessen sich rasch in die Breite ausdehnen. In der Nähe des Thallusra
wo das Gewebe am jüngsten, sind die Lappen gewöhnlich frei; später verbi
sie sich durch zahlreiche Haftfasern mit der Unterlage, oder wo sie sich
andere Lappen ausbreiten, mit diesen. Da die Haftfasern fest mit dem Ge
stande, auf den sie stossen, verwachsen, so sind die entsprechenden Punkte
Thallus als fixirt zu betrachten. Ihre Abstände bleiben daher, wenn die U
lage keine Veränderungen erleidet, annähernd dieselben; sie werden aber n
wendig grösser, wenn sie sich ausdehnt. Demzufolge erscheinen an Bäu
welche noch in die Dicke wachsen, die älteren Rosetten von beträchtlic
Durchmesser nie kreisförmig, sondern mehr oder weniger zum Oval in die B
gezogen. Aus demselben Grunde verursacht das intercalare Wachsthum
Thallus, welches indess nie so bedeutend ist, als bei den strauchartigen
manchen anderen laubartigen Flechten, Falten und Runzeln auf der Oberflä
welche schon in geringer Entfernung vom Rande, namentlich aber im mittl
Theil der Rosetten in grosser Zahl auftreten (Thallus rugoso-verrucosus).
Die Ränder der einzelnen Lappen lassen sich nach dieser Verunebnung der O
fläche nicht mehr erkennen; der ganze Thallus scheint aus einer zusammen
genden höckerigen Kruste zu bestehen und an seinem Umfange lappig effig
zu sein. Auf Durchschnitten, welche in einer mit der Peripherie parallel laufen

Richtung geführt werden, sieht man übrigens sogleich, dass diese Kruste von einer Vielzahl übereinander greifender und durch Haftfasern miteinander verwachsener Blätter gebildet wird. Die Oberfläche des unbedeckten Theils der bedeckten Lappen geht so unmerklich in die der deckenden über, dass die Begrenzungslinie von oben gesehen nur als schwache Furche erscheinen kann, welche gegen die sonst vorkommenden Unebenheiten verschwindet. Die untere Fläche des obern Lappens liegt in diesem Falle, wenigstens am Rande, unmittelbar auf der obern des untern. Der zwischen zwei Haftfasern liegende Theil solcher Durchschnitte ist meist mehr oder weniger gekrümmt; er springt gewölbartig nach oben vor und entspricht daher einer Erhabenheit der Oberfläche. Es bestätigt diess die eben ausgesprochene Ansicht, dass das intercalare Wachsthum des Thallus, resp. der Rinde, eine Faltung der Lappen zur Folge haben müsse, da die Haftfasern eine Verschiebung der durch sie fixirten Punkte nicht gestatten.

Ich habe schon anfangs erwähnt, dass die Neigung zur Parenchymbildung sich nicht selten auch auf das Markgewebe ausdehne. In der That beobachtet man bei kleinlappigen Varietäten und namentlich auch bei Thallusanlagen, die aus Soredien hervorgegangen, alle möglichen Uebergänge von dem im Vorhergehenden beschriebenen Bau zu einem durch und durch gleichförmigen Parenchym, in welchem die Gonidien als integrirende Bestandtheile desselben zerstreut sind. Man trifft sogar auf dem nämlichen Durchschnitt, je nach der Dicke des Thallus, Stellen mit parenchymatischer Markschicht und wieder andere, wo das Gewebe fibröser Natur ist oder wenigstens zahlreiche grössere oder kleinere Interstitien zeigt.

Das Wachsthum eines solchen parenchymatischen Lagers lässt sich ebensowenig direct verfolgen, als die Bildung der Soredienhüllen. Die Annahme, dass es auch hier bloss verästelte Fasern seien, welche das schöne grosszellige Gewebe aufbauen, gründet sich also bloss auf die Analogie. Wenn man aber erwägt, dass die Haftfasern, welche aus der untern Lagerfläche hervorsprossen, ganz entschieden aus einzelnen verästelten Fasern bestehen; dass die Markschicht auf dem nämlichen Durchschnitt stellenweise parenchymatisch, an anderen fibrös ist, und dass hier die Gonidien wie gewöhnlich auf kurzen Stielen sitzen, so gewinnt diese Annahme die grösste Wahrscheinlichkeit.

Hinsichtlich der Entwicklung des Thallus aus den Soredien, welche im Allgemeinen schon in der Einleitung (Nummer 3) erörtert wurde, füge ich noch folgendes Nähere hinzu. Die Soredien bilden, wie bereits erwähnt, durch fortwährende Theilung der Gonidien und Hereinwachsen der Faseräste aus der umgebenden Hülle Anhäufungen von parenchymatischen Massen, in welche die grünen Zellen eingebettet sind (Soredienanflüge). Sie können in diesem Zustande Jahre lang verharren, indem sie immer in derselben Weise fortvegetiren. Die Vermehrung der Gonidien ist in diesem Falle der vorwiegende Process. Die Verästlungen der Zellen reichen kaum hin, um sie alle mit parenchymatischen Hüllen zu umgeben. Unter günstigeren Umständen dagegen, wozu in erster Linie ein geringerer Grad von Feuchtigkeit und Schatten zu gehören scheint, [illegible] die Parenchymbildung das Uebergewicht. Die Folge davon ist zunächst [illegible] die ursprünglich staubig-körnige oder schuppig-kleiige Oberfläche der

Soredienanflüge sich ebnet, indem die vorkommenden Verti
ausgefüllt werden. Durch die lebhafte Vegetation der F
eine innigere Verschmelzung nebeneinander liegender Schüp
mentarorgane bewerkstelligt. Es bildet sich auf diese Wei
gendes Häutchen mit unregelmässigen Umrissen, möglicher W
durchlöchert, wie die ursprüngliche Lagerung der Soredi
Dieses Häutchen steht mit der Unterlage durch zahlreiche H
schon bei gewöhnlichen Soredienanflügen trifft) in Verbind
nun an vorherrschend an seiner Peripherie, womit die gew
verbunden ist. Der Thallus ist hiemit vollständig angelegt;
welche diese Anlage noch erfährt, beschränken sich auf die
Marke entsprechenden Gewebes durch Streckung der Zellen

Es ist einleuchtend, dass eine einzige grüne Zelle mit
kommen ausreicht, um den eben beschriebenen Entwicklu
Der letztere kann aber auch von mehreren benachbarten S
dem die aus denselben entstandenen parenchymatischen S
sammenstossen und miteinander verwachsen. Bei Soredie
einem durchlöcherten Häutchen verschmolzen sind, muss
Verwachsung stattgefunden haben.

Wenn die Thallusanlage nur einen sehr kleinen Fläch
sie an der Peripherie zu sprossen beginnt, so können di
der Lappen am entwickelten Thallus vermittelst tangentia
gegen die Mitte verfolgt werden. Wenn dagegen die Ver
längere Zeit fortdauert, folglich die parenchymatische A
Durchmesser erreicht, bis endlich die Lappenbildung am
steht auch der entsprechende centrale Theil des ausgebilde
einzigen ununterbrochenen Stück, aus einer annähernd krei
welcher man vergeblich nach den Begrenzungslinien einzelner

Placodium KBR.

Eine Gattung, welche ungeachtet ihres krustenartigen
den typischen Krustenflechten gezählt werden kann, da s
seitige Berindung sich wesentlich von denselben unterschei
Rinde sind fibrös oder kleinzellig-parenchymatisch (wobei j
über 6—7 Mik. im Durchmesser erreichen), bei den eine
gleichem, bei den andern von ungleichem Aussehen. Beid
zelligen, vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche
welche durch häufige Copulationen miteinander in Verbindu
Rinde stirbt allmählig von aussen nach innen ab und sch
Thallus abgestorbene Gonidien ein; aus der untern sprosst
schwammiger, oft sehr üppig entwickelter Hypothallus herv

Die Gonidien finden sich in grössern Gruppen oder auch gleichmässig vertheilt unter der obern Rinde, zuweilen in geringerer Zahl auch tiefer im Innern des Markes bis zur untern Rinde. Das Letztere ist natürlich nur dann der Fall, wenn die Bildung der Gonidien in der ganzen Krümmung des Randes, nicht bloss im oberen Theile desselben, stattfindet (Taf. VIII Fig. 7).

Der Faserverlauf kann im Allgemeinen als ein orthogonal-trajectorischer bezeichnet werden. Bei P. cartilagineum und P. albo-pulverulentum (Schaer.) ist derselbe sogar sehr entschieden ausgeprägt, während bei den übrigen Arten der ganze untere Theil des Markes aus vorherrschend radial verlaufenden Fasern besteht, welche nur zunächst der untern Rinde gegen die Oberfläche ausbiegen (Fig. 8). Durchschnitte durch den Rand sehen in diesem letzteren Falle unsymmetrisch aus, und zwar erscheint die untere Hälfte um so weniger ausgebildet, je inniger die Beziehung zum Substrat.

Das intercalare Wachsthum des Lagers lässt sich aus der Streckung der Markzellen annähernd bestimmen. Dieselben erreichen schon in geringer Entfernung vom Rande eine Länge von 30 — 50 Mik., die indess im ältern Thallus nicht mehr merklich zunimmt. Vergleicht man damit ihre ursprüngliche Grösse in der Rinde der Marginalregion, wo sie durchschnittlich nicht über 4 — 5 Mik. lang sind, so ergibt sich eine Ausdehnung in radialer Richtung, welche das 7 — 10fache des Scheitelwachsthums beträgt.

Placodium cartilagineum (Westr.)

Thallus schon in unmittelbarer Nähe des Randes c. $^1/_4$ — $^1/_3$ Millim. dick, mit ausgeprägtem orthogonal-trajectorischem Faserverlauf. Obere Rinde c. 20 — 24 Mik. dick, aus vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden Fasern bestehend, zuweilen von kleinzellig-parenchymatischem Aussehen, im peripherischen Theil mit zahlreichen zwischen die Fasern eingelagerten, eine dunkle Zone bildenden Körperchen, welche nach Zusatz von Kali sogleich verschwinden, in Säuren dagegen (Salpeters., Salzs.) unverändert bleiben. Untere Rinde mit der oberen übereinstimmend, jedoch ohne körnige Einlagerungen. Gonidien in Gruppen oder Nestern im oberen Theil des Markes, spärlich vertheilt aber auch im Innern desselben bis zur untern Rinde. — Ein Hypothallus war bei den untersuchten Exemplaren nicht vorhanden (Taf. VIII Fig. 7).

Pl. chrysoleucum Ach.

Thallusdicke zunächst dem Rande c. 0,5 bis 0,6 Millim. Obere Rinde oft sehr dünn (durch Verwitterung?), untere bis 80 Mik. dick, aus vielfach verästelten, häufig durch Copulation miteinander verbundenen Fasern bestehend, zunächst der Oberfläche gewöhnlich etwas grosszelliger. Markgewebe zwischen den grössern Gonidiengruppen in der Regel ziemlich dichtfilzig und allmählig in die obere Rinde übergehend. Im Uebrigen wie die vorhergehende Art.

Pl. inflatum Schl.

Thallusdicke zunächst dem Rande c. 0,5 bis 0,6 Millim. Obere Rinde gewöhnlich sehr dünn, untere c. 30—40 Mik. dick, im Habitus wie bei Pl. carti-

lagineum. Mark im untern Theil radialfaserig (nur zunäch
lich unregelmässig), lockerfilzig und gonidienlos; im obern
filzig und daher unter dem Microscop hell; aus bogenförmig
fenden Fasern bestehend, zwischen den Gonidiengruppen ohn
die obere Rinde übergehend. — Die beiden Varietäten mela
placa (Schaer.) verhalten sich gleich.

Pl. albo-pulverulentum Schaer. Enum.

Obere Rinde 50 — 80 Mik. dick, aus stark verästelten, j
senkrecht nach oben verlaufenden Fasern bestehend; untere F
Mächtigkeit, mit parallel nebeneinander liegenden, senkrec
unterfläche wachsenden Fasern; Markgewebe ziemlich verwor
halb der eigentlichen Gonidienzone mit spärlichen grünen Ze

Pl. diffractum (Lecanora muralis β diffract

Obere Rinde c. 24 Mik. dick, im Habitus wie bei Pl. c
Rinde weniger ausgebildet, ein braunes Fasergeflecht von
(Uebergang zu den typischen Krustenflechten). Mark radialf
Theil gonidienführend (Taf. VIII Fig. 8).

Pl. concolor. Ram.

Verhält sich im Wesentlichen wie die vorhergehende Ar
Theil der Markschicht mit spärlichen Gonidien.

Pl. frustulosum var. argopholis (Parm. spec. Fr.

Ich führe diese Flechte hier auf, weil sie wegen der bei
unmöglich mit den Lecanoren vereinigt werden kann, an
Arten sich dagegen ungezwungen anschliesst. — Obere Ri
aus stark verästelten und verfilzten Fasern bestehend.

Untere Rinde von etwas geringerer Mächtigkeit (30 — 4
der stark verdickten Wandungen der Zellen von abweic
(Taf. VIII Fig. 9). Markschicht locker, verworrenfilzig, nu
Gonidien. — Abgestorbene Gonidien bis an den Rand der ober

Sticta.

Es gibt wohl wenige Gattungen, welche wie Sticta bei
chenen natürlichen Verwandtschaft der zahlreichen Arten,

(*) Lecanora radiosa β myrrhina Schaer. und Lecano
areolatum Schaer. gehören nicht hieher, sondern müssen zu den ty
ohne untere Rinde gezählt werden.

Uebergänge und so grosse Gegensätze zeigen, dass man an der systematischen Bedeutung der betreffenden anatomischen Charactere zweifeln möchte. Allein wenn man die ganze Formenreihe überblickt und die vorkommenden Abweichungen genauer verfolgt, so gewinnt man die Ueberzeugung, dass man es hier mit Uebergangsbildungen zu thun hat, in welchen die Natur des Thallus eine allmählige Umwandlung erleidet, die successive in den verschiedenen anatomischen Merkmalen, in den einen früher, in den andern später, sich ausspricht. Die Aufstellung mehrerer Typen scheint mir unter solchen Verhältnissen nicht wohl zulässig, da die Abgrenzung derselben nach dem einen Merkmal so, nach dem andern anders ausfallen müsste, eine durchweg naturgemässe Gruppirung der Arten also auf keinen Fall zu erzielen wäre. Ich beschränke mich daher in nachstehender Characteristik darauf, die vorkommenden Verschiedenheiten zu erwähnen und in der Aufzählung der untersuchten Arten, so gut es geht, zu berücksichtigen.

Der Thallus ist bei sämmtlichen Arten vollständig umrindet; die Rinde bei den einen schön parenchymatisch, wie bei Physcia, bei andern fibrös, wie bei den Imbricarien; in beiden Fällen auf der untern Seite stets mit einem stärkern oder schwächern Filz bekleidet, welcher von isolirten, oder doch nur zu wenigen verwachsenen, meist kurzzelligen Fasern gebildet wird. Haftfasern, wie sie bei den vorhergehenden Gattungen vorhanden waren, kommen hier nicht vor.

Die parenchymatische Rinde besteht meist nur aus wenigen Schichten dünnwandiger Zellen, welche zu einem vollkommen interstitienlosen, auf zarten Durchschnitten äusserst zierlichen Gewebe verbunden sind. Gewöhnlich ist sie auf der untern Lagerfläche beträchtlich dünner als auf der oberen, hier c. 20—60 Mik., dort selten über 10 — 20 Mik. dick. Die einzelnen Zellen erscheinen bisweilen in kürzere oder längere Reihen geordnet, welche gewöhnlich parallel der Oberfläche, oder bei einer grössern Zahl von Zellschichten (Sticta amplissima) senkrecht zu derselben verlaufen.

Das fibröse Rindengewebe stimmt im Allgemeinen mit dem der Imbricarien überein; nur sind die Zellhöhlungen gewöhnlich etwas grösser und die Verästlungen der Fasern daher weniger leicht zu verfolgen. Uebergänge zum Parenchym, wenn auch zu einem äusserst kleinzelligen, kommen namentlich im ältern Thallus häufig vor; ja es gibt Arten, bei denen man kaum weiss, ob die Benennung parenchymatisch oder fibrös die richtigere sei. Entschieden fibrös ist die Rinde bei Sticta pulmonaria und crocata; kleinzellig-parenchymatisch mit ungleichmässig verdickten Wandungen bei Sticta linita und scrobiculata.

Der oberflächliche Theil der Rindenschicht ist stets mehr oder weniger gelblich oder braun gefärbt, auf der untern Seite des Thallus gewöhnlich in höherem Grade als auf der oberen. Die Färbung erstreckt sich zuweilen bis an den Innenrand der Rinde, während sie in andern Fällen auf die die Oberfläche bildenden Zellwandungen beschränkt ist.

Die Prolificationen, welche bei Sticta fuliginosa die obere Rinde bedecken, bestehen, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, aus einem Gonidien führenden Fasergeflecht, umgeben von einer epidermis-artigen, oft nur von einer einzigen Zellschicht gebildeten Rinde.

Ueber das anatomische Verhalten des filzigen Ueberzug
fläche geben die Durchschnitte auf Taf. IX Fig. 2—3 genügen
füge zur Berichtigung der irrigen Angabe Körbers, dass d
Röhrenzellen der Markschicht gebildet werde, in dem diese
Rindenschicht durchbrechen, bloss die Bemerkung bei, dass
einzelnen Zellfäden durch Auswachsen der oberflächlichen Rin
und in der Nähe des Randes in den verschiedensten Entwic
achtet werden können.

Dagegen verdienen die sogenannten Brutbecherchen
durch welche diese Gattung characterisirt ist, ausführlicher Er
gebildeten Zustande erscheinen dieselben als kleine verschieden-
die von einem gewölbartigen Rande begrenzt werden. An
dieser Grübchen ist die Rindenschicht, wie man auf Durchsc
kennt, unterbrochen, so dass das weisse oder gelbe Markgew
eingesenkt sind, bloss gelegt wird (Taf. IX Fig. 6, 7). Das Let
Arten durch ein dichteres kurzzelliges Geflecht, bisweilen auch
Parenchym vom Hohlraum der Cyphelle abgegrenzt; diese
rindenartige Wandung. Bei den übrigen Arten dagegen ist die
des Markes ebenso lockerfilzig als beliebige tiefer liegende;
in diesem Falle gerade so aus, wie die Durchbruchsstellen de

Ueber die Entwicklung dieser vermeintlichen Brutorgane
Betrachtung mit der Loupe, oder bei auffallendem Lichte mit der
Aufschluss. Man bemerkt in der Nähe des Randes hie und
bene Stellen, hügelförmige Erhabenheiten, welche sich durch
fasern als noch nicht ausgebildete Cyphellen zu erkennen geb
sich in diesem Stadium noch ohne Unterbrechung über den H
Bald jedoch bildet sich in der Mitte desselben eine kleine Oeff
man in eine etwas grössere, offenbar schon vorher entstandene
Die Entwicklung der Cyphellen ist damit bereits vollendet;
änderungen sind bloss eine Folge der Ausdehnung des Thallu
Wachsthum, wobei nothwendig auch der Umfang des Höckers
Innern und die Mündung desselben allmählig grösser werden.

Untersucht man nun die zuerst erwähnten Entwicklung
Durchschnitten, so findet man an der blasig aufgetriebenen
gewöhnliche Markgeflecht oder einen etwas dichter geflo
welcher bei den Arten mit deutlich begrenzten Cyphellen
Zellen und die Grösse der Zellhöhlungen ein parenchymatisch
Bei Sticta macrophylla, einer Species von der letzten C
man zuweilen das auf Taf. IX Fig. 4 dargestellte Verhalten.
filziges, fast parenchymatisches Gewebe umgibt einen kleinen
im untern Theile der Markschicht, ungefähr über der Mitte
findet. Zweifelsohne kommen ähnliche Entwicklungsstadien a
verwandten Arten vor (jedoch wahrscheinlich mit Ausnahme
Markschicht keine bestimmte Abgrenzung zeigt) und ist es

Zufalls, dass ich sie trotz der zahlreichen Durchschnitte, die ich anfertigte, nicht finden konnte. Da nun die jüngsten der ausgebildeten Cyphellen immer beträchtlich weiter sind als dieser Hohlraum, so muss angenommen werden, dass sich derselbe noch einige Zeit ausdehne, bevor er durch die in der Rinde entstehende Oeffnung nach aussen mündet.

Die Entwicklung der Cyphellen beruht also im einfachsten Falle wahrscheinlich bloss auf der stärkeren Entwicklung der Markschicht an einzelnen Stellen, der dadurch veranlassten Auftreibung der Rindenschicht und der endlichen Unterbrechung derselben. Im complicirteren Falle geht diesem letzten Vorgang die Bildung eines Hohlraumes in dem nach unten vorspringenden Faserknäuel voraus.

Die älteren Lichenologen nahmen bekanntlich an, dass die Cyphellen Soredien bildende Organe seien (Meyer, Flecht. pag. 148). Die Richtigkeit dieser Annahme vorausgesetzt, lag die Vermuthung nahe, es möchten die Gonidiennester, welche man hie und da mitten im Marke antrifft, noch unausgebildete Cyphellen sein, welche später nach unten aufbrechen und ihren Inhalt entleeren. Diese Vermuthung erweist sich indessen bei genauer Untersuchung als grundlos. Man sucht vergebens nach irgend einem Uebergangsstadium, in welchem die Entleerung der Gonidien bereits begonnen oder ein Durchbruch der Rinde eben stattgefunden hätte. Andererseits glaube ich für St. macrophylla und damaecornis die Thatsache festgestellt zu haben, dass die jüngsten Cyphellen, bei welchen die Oeffnung so klein ist, dass eine die Höhlung ausfüllende Soredienmasse unmöglich hätte heraustreten können, nicht eine einzige grüne Zelle enthalten. Bei ersterer Art gibt das Fig. 4 dargestellte Entwicklungsstadium vollends die Gewissheit, dass die Cyphellen mit den Gonidiennestern im Marke in keinerlei Beziehung stehen, überhaupt keine Brutorgane sind*.

Welches nun aber die wahre Bedeutung der Cyphellen sei, lässt sich aus ihrer anatomischen Beschaffenheit nicht erkennen. Es ist möglich, dass sie als eine Art von Spaltöffnungen zu betrachten sind, durch welche die im Markgewebe enthaltene Luft mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt wird. Es ist aber auch ebenso gut möglich, dass sie für die Pflanze keine weitere Bedeutung haben, als die Löcher, welche bei Imbricaria terebrata den ganzen Thallus und bei einigen höheren Pflanzen das Blattparenchym durchsetzen. —

Nicht immer entsprechen den Unterbrechungen der unteren Rinde grübchenförmige Vertiefungen in der Markschicht; die letztere zeigt bei einigen Arten, so weit sie bloss gelegt ist, eine mit der oberen Fläche parallel laufende Begrenzung. Jene Unterbrechungen erscheinen in diesem Falle nicht als Cyphellen, sondern als weisse Flecken, die von dem berindeten Theil der untern Fläche durch ihre Farbe und den Mangel an Filzfasern abstechen. Diese Flecken sind in der Regel viel grösser als die Cyphellen, sie nehmen nicht selten einen überwiegenden Theil der untern Lagerfläche ein; aber dessenungeachtet ist das Gewebe, welches die

---

(*) Bei St. aurata habe ich jedoch neuerdings Gonidien führende (mit den Gonidiennestern nicht zu verwechselnde) Faserknäuel in den Cyphellen beobachtet. Die Angabe von Fries „cyphellis sorediiformibus“ wird dadurch bestätigt. Möglich, dass sich einige verwandte Arten, die sich durch „cyphellae pulverulentae“ auszeichnen, ähnlich verhalten.

blossgelegte Markschicht nach aussen abgrenzt, genau dassel
Arten die rindenartige Wandung der Cyphellen bildet: ein
dichtes, kurzzelliges, bisweilen parenchymatisches Fasergefleck

Sowohl die Cyphellen und weissen Flecken, als auch di
nung auf der Oberfläche (z. B. bei Sticta scrobiculata) g
zuverlässigen Anhaltspunkt für die approximative Bestimmu
Wachsthums. Wenn nämlich das letztere die einzige Ursa
ist, welche die Oeffnungen der Cyphellen und die Masche
Netzes erleiden, so kann durch die Vergleichung der Dur
desselben bestimmt werden. Einige Messungen auf der Mitt
von Sticta dichotoma ergaben folgende Resultate:

Diameter der Cyphelle (in Mik.)	33 (40)	88	165	220
Abstand vom Scheitel des Lappens	330	836	2200	3300

Das Markgewebe ist gewöhnlich lockerfilzig und luftfü
Regel etwas dichter geflochten als bei den Imbricarien. D
vorherrschend in der Längsrichtung der Lappen, ihre Wandu
mässig verdickt (bis auf $^{1}/_{4}$ oder $^{1}/_{3}$ des Durchmessers, selt
einzelnen Zellen lang-gestreckt (30—40 Mik. und darüber).

Die Gonidien sind bei einer Reihe von Arten blass-gr
kugelig, mit doppelt conturirten Membranen, durchschnittlich
übrigen Parmeliaceen (selten über 8—10 Mik. im Diam.).
Theilungsweise ist in diesem Fall die gewöhnliche der gelb-g
einer andern Reihe von Arten ist dagegen die Farbe der G
blau-grün, zuweilen fast blau, und dem entsprechend auch
bei den übrigen Flechten mit blau-grünen Gonidien, eine abw
Theilung entstandenen Gruppen sind nämlich häufig von einer
der stark verdickten Membran der Mutterzelle, umschlosser
auch nach dem Zerreiben des Präparates meist zu grössern
gestaltigen Complexen vereinigt, wie diess in vollkommen
Weise auch bei Nephroma, Pannaria u. a. der Fall ist.
cher Gonidiengruppen an verschiedenen Punkten hat zur Folge
schicht hie und da in abgerundeten Massen weit in das Mar

Die oben erwähnten Gonidiennester, welche man oft m
getrennt von der Gonidienzone antrifft, sind von zahlreichen
flochten und können daher ebenso gut als Soredienmassen an

Die Soredien brechen bekanntlich bald am Rande, bald
der Oberfläche hervor. Im ersteren Falle ist die Rindenschich
Strecken unterbrochen und in solcher Weise umgeschlagen o
die Gonimonschicht nach oben zu liegen kommt. Die gelbe
Soredien bei St. aurata und crocata zeigen, rührt nicht et
sondern von den zahlreichen gelben Körperchen her, womit di
Die Faserhüllen sind nie parenchymatisch, übrigens bald dichte
geflochten.

Zusammenstellung der Arten.

* **Gonidien blau-grün, in Gruppen, die von der Membran der Mutterzelle umschlossen sind. — Mit oder ohne Cyphellen; Rinde parenchymatisch oder fibrös. Stictina Nyl.**

Sticta sylvatica L. Obere Rinde c. 20, unten c. 16 Mik. dick; erstere aus 3—4, letztere meist nur aus 2 Schichten dünnwandiger Zellen bestehend. — IX, 2 Durchschnitt durch die obere und untere Rinde.

St. fuliginosa Ach.
St. Dufourii Delis.
St. limbata Sm.
Verhalten sich ebenso. In der obern Rinde liegen gewöhnlich 3—4, in der untern 2—3 Zellen übereinander.

St. macrophylla Bory. Obere Rinde 30—36, unter 20—40 Mik. dick, beide parenchymatisch aus 3—5 Zellschichten bestehend. — Fig. 4 Durchschnitt durch den Thallus mit einer jungen Cyphelle.

St. retigera Bory. Obere Rinde c. 40 Mik. dick, parenchymatisch, aus 5—7 Zellschichten bestehend, die oberflächlichen Zellen mit sehr kleinen Höhlungen. Untere Rinde c. 20 Mik. dick, mit 3—4 Zellschichten, wie die obere.

St. filicina Zoll. Cat. Nr. 213. (Comm. Hepp). Obere und untere Rinde parenchymatisch, beide c. 28—30 Mik. dick (Taf. IX Fig. 3 Durchschnitt durch die obere und untere Rinde). Mark ziemlich dichtfilzig. Filzfasern mit stark verdickten Wandungen — Thallus von sehr verschiedener Dicke, bis 300 Mik. und darüber.

St. scrobiculata Scop. Obere Rinde 40—50 Mik. dick, kleinzellig-parenchymatisch, aus 4—6 Zellschichten bestehend. Untere Rinde 30—36 Mik. dick, mit etwas stärker verdickten Zellwandungen.

St. crocata Auct. Obere Rinde 40—50 Mik. dick, durchgehends fibrös, namentlich zunächst der Oberfläche mit sehr kleinen Zellhöhlungen. Untere Rinde 12—20 Mik. dick, auf zarten Durchschnitten mit braunem Rande, auf dicken ganz braun, im Uebrigen wie die obere. Gonidien in einer ununterbrochenen grünen Zone von ziemlich gleichmässiger Breite (c. 40 Mik.). Markfasern nur spärlich mit kleinen Körperchen besetzt, daher das Gewebe farblos (weiss); Faserknäuel der Soredien dagegen durch massenhafte Einlagerung intensiv gelb gefärbt.

** **Gonidien gelb-grün oder blass-grün, kugelig (nicht über 10—12 Mik. im Durchmesser), mit doppelt conturirten Membranen, ohne gemeinsame Hüllen. Mit oder ohne Cyphellen; Rinde parenchymatisch oder fibrös. Sticta und Ricasolia Nyl.**

Sticta herbacea Huds. (Exs. Stenh.)
Ricasolia discolor (Del.) Nyl.
R. corrosa (Ach.) Nyl.
R. intermedia Nyl.
R. Schaereri Montg. et v. d. B.
R. dissecta (Ach.) Nyl.
R. crenulata (Hook) Nyl.
R. pallida (Hook) Nyl.
Obere Rinde 28—30, seltener bis 40 oder auch nur 20—24 Mik. dick, parenchymatisch, aus 3—5 Zellschichten bestehend, die peripher. Zellen kleiner und mit stärker verdickten Wandungen. Untere Rinde meist dünner als die obere, selten über 20—24 Mik. dick, aus c. 2—3 Zellschichten bestehend, nicht immer deutlich vom Marke abgegrenzt. Gonidien sehr klein, oft nur 4—5, selten über 10 Mik. im Durchm.*

(*) Die hier erwähnten Repräsentanten der Gattung Ricasolia Nyl. wurden mir

Sticta aurata Sm. Obere Rinde 20 Mik. dick, aus 5—8 Schichten ziemlich dickwandiger Zellen bestehend, wovon die peripherischen mit braunen Membranen und gewöhnlich kleiner als die tiefer liegenden. Untere Rinde etwas dünner (c. 24 — 30 Mik.), mit 3 — 5 Zellschichten, im Uebrigen wie die obere. Markfasern mit zahlreichen gelben Körperchen besetzt, welche dem Gewebe die bekannte schöne Farbe verleihen. — Fig. 6 Schnitt durch den Thallus mit einer Cyphelle.

St. damaecornis Auct. (St. dichotoma) Rindenschicht beiderseits ein schönes dünnwandiges Parenchym, im Uebrigen wie bei vorhergehender Art. Mark ohne körnige Einlagerungen. — Fig. 7 Schnitt durch den Thallus mit einer Cyphelle.

St. amplissima Scop. Obere Rinde 60 Mik. dick, mit sehr unregelmässig begrenztem Rande, zunächst der Oberfläche mit stark verdickten gelblichen Zellwandungen. Markgewebe ziemlich dichtfilzig, jedoch lufthaltig, mit vorherrschend longitudinalem Faserverlauf und langgestreckten Zellen, auf der Unterseite des Lagers in ein kurzzelliges parenchymatisches Gewebe übergehend, das zwar stellenweise etwas gelockert erscheint, im Uebrigen aber das gewöhnliche Verhalten der untern Rinde zeigt. Gonidien 8—10 Mik., selten 12 Mik. im Durchmesser, mit zarter, jedoch hie und da vom Inhalt abgelöster Membran.

St. linita Ach. Obere Rinde 30—40 Mik. dick, fibrös oder kleinzellig-parenchymatisch mit stark verdickten Zellwandungen. Untere Rinde gewöhnlich nicht über 8—10 Mik. dick, aus vorherrschend in tangentialer Richtung verästelten Fasern bestehend. Gonidien blassgrün, nur spärlich vorhanden. — Das Rindengewebe bildet den Uebergang vom kleinzelligen Fasergeflecht der St. pulmonaria zu dem schönen Parenchym der vorhergehenden Arten.

St. pulmonaria L. Obere Rinde 24 — 50, untere 16 — 20 Mik. dick, beide fibrös.

Anmerkung. Diese zweite Reihe von Arten, welche den Uebergang zu den Parmelien bildet, erscheint mit Rücksicht auf Form und Gruppirung der Gonidien ziemlich scharf von der ersten Reihe abgegrenzt. Dagegen möchte ich fast bezweifeln, ob der grüne Farbstoff, der in der letzteren mit Phycrochom übereinstimmt, bei den gelb-grünen oder blassgrünen Gonidien durchweg Chlorophyll sei, und wenn auch, so bleibt immer noch zu erwähnen übrig, dass die Gonidienmembranen mit Jod und Schwefelsäure sich nicht oder nur sehr schwach blau färben, während sie bei typisch gelbgrünen Gonidien eine entschieden blaue Färbung zeigen.

---

sämmtlich von Herrn v. Krempelhuber in Originalexemplaren mitgetheilt. Da ich in der Folge noch öfter Gelegenheit haben werde, ähnliche Mittheilungen sowohl von Herrn v. Krempelhuber, als von den Herren Dr. Hepp und Arnold zu erwähnen, so erfülle ich hier die angenehme Pflicht, diesen den Freunden der Flechtenkunde rühmlichst bekannten Männern hiemit meinen aufrichtigen Dank für ihre freundliche Unterstützung auszusprechen.

Nephroma ACH.

Während die schildförmigen randlosen Apothecien die Vereinigung dieser Gattung mit Peltigera und Solorina rechtfertigen, spricht sich in der anatomischen Beschaffenheit des Thallus eine so vollständige Uebereinstimmung mit der vorhergehenden Gattung aus, dass es unmöglich ist, irgend ein Merkmal anzugeben, dass im Formenkreise von Sticta bei dieser oder jener Art nicht auch zu finden wäre. Nephroma reiht sich demnach, wenn man von den carpologischen Merkmalen* absieht, ungezwungen an die Parmeliaceen an, steht dagegen unter den Peltideaceen schon durch seine beiderseitige Berindung vereinzelt da.

Obere und untere Rinde sind schön parenchymatisch, die letztere meist etwas dünner als die erstere und wie bei Sticta mit einem stärkeren oder schwächern Faserfilz bedeckt (Taf. IX Fig. 8 Schnitt durch den Thallus). Beide bestehen aus 2 — 5 oder einer noch grössern Zahl von Zellschichten und gehen am Rande in einem wie gewöhnlich halbkreisförmigen Bogen ineinander über. Das Gewebe ist hier etwas kleinzelliger und dünnwandiger, im Uebrigen von dem der ältern Rinde nicht verschieden.

Die Gonidien sind klein, blau-grün oder grünlich-blau, nach Zusatz von Kali gelb-grün. Ihre durch Theilung entstandenen Gruppen sind von den Membranen der Mutterzellen umschlossen und werden daher beim Zerreiben des Präparats zwar leicht isolirt, gewöhnlich jedoch nicht in die einzelnen Zellen aufgelöst.

Anmerkung. Die Angabe Körber's (S. L. G. p. 54), dass die „mittlere" Markschicht bei N. laevigatum von einer schmalen doppelten Gonidienschicht eingefasst sei, bei N. tomentosum dagegen gänzlich fehle, ist unrichtig und beruht jedenfalls auf sehr oberflächlicher Beobachtung.

Nephroma laevigatum Ach. Obere Rinde 20—30, untere 12—20 Mik. dick, erstere aus 2—5, letztere aus 2—3 Zellschichten bestehend. Filzfasern der unteren Lagerfläche sehr kurz, oft nur papillenförmig oder kaum angedeutet.

N. tomentosum Hoffm. Obere Rinde 16—30, untere 12—20 Mik. dick; erstere aus 3—5, letztere aus 2 - 3, selten 4 Zellschichten bestehend. Faserfilz der unteren Lagerfläche stark entwickelt, die einzelnen Fasern kurzzellig und dünnwandig.

N. arcticum L. Obere Rinde 40—48 Mik. dick, schön parenchymatisch, die einzelnen Zellen hie und da in undeutlichen radialen Reihen, zunächst der Rinde zuweilen mit stark verdickten Wandungen (wie bei Sticta amplissima). Untere Rinde von ungefähr gleicher Dicke oder etwas dünner (20 — 40 Mik.) ebenfalls schön parenchymatisch. Markgewebe dichter geflochten als bei den vorhergehenden Arten. Filzfasern der untern Fläche hie und da von bedeutender Länge, stellenweise aber auch ganz fehlend.

(*) Die carpologischen Merkmale sind übrigens nicht der Art, dass sich hieraus eine sehr nahe Verwandtschaft mit den Gattungen Peltigera und Solorina folgern liesse. Die Sporen stimmen bekanntlich mit denen von Sticta vollkommen überein, und die Apothecien sind schleierlos. —

Peltigera HOFFM.

Unter sämmtlichen Lichenen mit typisch-laubartigem Habitus stehen Peltigera und Solorina, diese beiden Repräsentanten der kleinen, aber sehr natürlichen Gruppe der Peltideaceen, durch den gänzlichen Mangel einer untern Rindenschicht — bei durchweg lockerfilzigem Marke — vereinzelt da. Sie schliessen sich dagegen durch ihre schildförmigen Apothecien an die vorhergehende Gattung und durch diese an Sticta an.

Peltigera besitzt eine schön parenchymatische obere Rinde von ziemlich gleichmässiger Dicke. Die Wandungen der Zellen sind im grössern innern Theil des Rindenparenchyms meist ziemlich zart, zunächst der Oberfläche dagegen beträchtlich verdickt, oft so stark, dass die Lumina auf zarten Durchschnitten einen kleineren Theil der Fläche einnehmen als die Membranen (Taf. IX Fig. 9). Der Verlauf der Rindenfasern lässt sich im ältern Thallus wegen der isodiametrisch-polyedrischen Form der Zellen und der annähernd gleichmässigen Verdickung der Membranen nicht immer mit Sicherheit erkennen; dagegen überzeugt man sich auf Durchschnitten durch den jugendlichen Rand leicht, dass die vorherrschende Wachsthumsrichtung die Oberfläche senkrecht trifft.

Die Gonidien sind klein, blau-grün oder schmutzig gelblich (stets durch Phycochrom gefärbt); sie bilden eine zusammenhängende Schicht von ziemlich gleichmässiger Breite und verhalten sich hinsichtlich ihrer Grösse und Gruppirung wie die blau-grünen Gonidien von Nephroma, Sticta, Pannaria etc.

Das Gewebe unterhalb der Gonidienschicht, das in jeder Hinsicht mit dem Mark der vorhergehenden Gattungen übereinstimmt und daher auch hier als Markschicht bezeichnet werden muss, besteht aus verästelten, locker verflochtenen Fasern, die zuweilen 8—10, oft aber auch nur 4—6 Mik. Dicke erreichen. Ihre Wandungen sind bald dünn, bald mässig verdickt, die einzelnen Zellen mehr oder weniger lang gestreckt (c. 30—50 Mik.).

Auf der untern Lagerfläche bilden die Markfasern (mit Ausnahme von P. malacea) anastomosirende Venen, die sich indess nicht als solide Stränge, sondern bloss als etwas dichter geflochtene Bündel vorherrschend parallel verlaufender Fasern erweisen. Von gleicher Beschaffenheit sind auch die Haftfasern, welche die Venen nach unten entsenden; sie sind durchweg lockerfilzig und dadurch von den entsprechenden Organen der Parmelien verschieden.

Das Marginalwachsthum des Thallus beruht auf der Verlängerung und Verästlung der peripherischen Rinden- und Markfasern. Der Verlauf derselben ist übrigens nicht regelmässig genug, um für die Wachsthumserscheinungen eine bestimmte Regel aufstellen zu können.

Ueber das intercalare Wachsthum gibt das Venennetz auf der Lagerunterseite einigen Aufschluss. Man beobachtet nämlich, dass die Maschen desselben bis auf einige Entfernung vom Rande rasch an Grösse zunehmen und jedenfalls ein Vielfaches ihres ursprünglichen Durchmessers erreichen, dann aber keine merkliche Veränderung mehr zeigen. Es folgt daraus, dass das intercalare Wachsthum fast ausschliesslich auf die jüngsten Partieen des Thallus beschränkt ist, aber dessenungeachtet an der Flächenausdehnung desselben einen weit grösseren Antheil hat, als das Marginalwachsthum.

Peltigera canina L. P. horizontalis L.	Rinde 44 — 50 Mik. dick, parenchymatisch, zunächst der Oberfläche mit stärker verdickten Wandungen. (Taf. IX Fig. 9. Schnitt durch die Rinde und die Gonidienzone.)
P. venosa L. P. polydactyla Hoffm.	Rinde 32 — 40 Mik. dick, dünnwandig-parenchymatisch.

P. malacea Ach. Rinde 24 — 32 Mik. dick, aus 3 — 5 Zellschichten bestehend, dünnwandig-parenchymatisch. Die Oberfläche derselben ist mit einem schwachen Tomentum besetzt, welches von dickwandigen, verfilzten Faserfortsätzen gebildet wird, deren Länge hie und da die Dicke der Rinde übersteigt. An den Markfasern haften zahlreiche kleine Körperchen, welche nach Zusatz von Kali sogleich verschwinden.

P. aphtosa L. Rinde c. 30 Mik. dick, häufig mit warzenförmigen Prolificationen, die aus interstitienlosen, meist undeutlich parenchymatischem Gewebe bestehen.

Anmerkung. Ueber die Anatomie des Thallus von Peltigera hat bereits Speerschneider (Bot. Zeit. 1857 p. 521) schätzenswerthe Untersuchungen veröffentlicht. Dieselben stimmen in der Darstellung der Lagerung und Structur der Thallusschichten im Allgemeinen mit meinen Beobachtungen überein, weichen jedoch mit Rücksicht auf die feineren anatomischen Details in einigen Punkten von denselben ab. Ich hebe insbesondere folgende hervor:

1) Die Rindenzellen sind nicht kugelig oder oval, wie sie Speerschneider beschreibt und in Fig. 2 der beigegebenen Tafel abbildet, sondern unregelmässig prismatisch, tonnenförmig oder cylindrisch mit ebenen Endflächen. Die Zellen der nämlichen Faser sind nämlich stets durch Scheidewände mit parallelen Conturen von einander abgegränzt und daher auch in der älteren Rinde als solche zu erkennen. Das Gewebe erhält durch diesen Umstand, namentlich wenn die Seitenwandungen der Faserzellen stark verdickt sind, einen eigenthümlichen Habitus, indem die Fasern bald längs, bald quer oder schief geschnitten sind.

2) Die vermeintliche Verdickungsschicht, welche von der eigentlichen Zellmembran nach aussen abgesondert sein soll, ist nichts anderes als der peripherische Theil der Zellmembran selbst. Dass die innerste Schicht derselben unter dem Mikroskop heller erscheint, ist eine Folge ihrer grösseren Dichtigkeit. Gewöhnlich beobachtet man übrigens bei stark verdickten Fasern der Flechten überhaupt eine ähnliche helle Schicht zunächst der Oberfläche.

3) Speerschneider will die Bildung der Gonidien an Fadenzellen bei einer Anzahl von Lichenen und auch bei Peltigera nachgewiesen haben. Bei letzterer sollen sie indess länger als gewöhnlich in den Faserzellen liegen bleiben und öfters mit ihnen ausgestreut und erst nach deren gänzlicher Zerstörung frei werden. Nach den Zeichnungen zu schliessen, ist die angebliche Faserzelle, in welcher die Gonidien liegen, nichts Anderes als die Membran der Mutterzelle, die nach der Theilung der letzteren die Tochterzellen umschliesst. Dass sie aber auf die in der Zeichnung (Fig. 6) angedeutete Weise mit den Faserzellen in Verbindung stehe und ursprünglich selbst eine gewöhnliche Faserzelle gewesen sei, beruht jedenfalls auf Täuschung.

Solorina ACH.

Die Verwandtschaft dieser Gattung mit Peltigera ist so augenfällig, dass man füglich beide als Repräsentanten eines Typus zusammenstellen könnte. Wenn ich sie hier gesondert betrachte, so geschieht diess vorzugsweise wegen des abweichenden Verhaltens der Gonidien.

Der Thallus ist stets nur oberseits* berindet, die Rinde parenchymatisch und entsprechend der vorherrschenden Wachsthumsrichtung der Fasern aus senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen gebildet (Taf. IX Fig. 10). Die Wandungen der Zellen sind bei S. saccata nur wenig, bei S. crocea stärker verdickt, jedoch zwischen den successiven Zellen derselben Faser stets weniger als zwischen den seitlich sich berührenden Zellen verschiedener Fasern. Zunächst der Oberfläche erreicht die Verdickung, wie gewöhnlich, einen höheren Grad.

Die Gonidien bilden eine zusammenhängende grüne Zone unter der Rinde; sie finden sich ausserdem auch in grössern oder kleineren, im Marke zerstreuten Nestern (Taf. IX Fig. 11). Merkwürdiger Weise steht damit auch ein abweichendes Verhalten der einzelnen Zellen im Zusammenhang. Die Gonidien der Gonimonschicht sind gelblich grün, kugelig oder elliptisch, mit einfach (selten doppelt) conturirten Membranen, einzeln oder in Gruppen, jedoch nie mit gemeinsamen Hüllen. Aus dem Inhalt, welcher häufig stellenweise von der Membran abgelöst erscheint, scheiden sich gewöhnlich grössere oder kleinere, oft sehr zahlreiche Oeltropfen aus, wie man sie bei den typisch-gelbgrünen Gonidien beobachtet. Es kommt sogar nicht selten vor, dass der ganze Inhalt aus einem oder zwei grossen, ölartigen Tropfen besteht. Die Grösse der Zellen schwankt zwischen 4 und 8 Mik.; die ovalen sind beispielsweise 6 — 8 Mik. lang und 4 — 6 Mik. breit. Ob der

---

(*) Streng genommen ist diess nur für den sterilen Thallus gültig, da an den den Apothecien entsprechenden Stellen auch die Lagerunterseite berindet ist. Diese untere Rinde erreicht eine Dicke von 100 bis 140 Mik., ist schön parenchymatisch wie die obere, überhaupt im ganzen Habitus mit dieser übereinstimmend. An den Rändern löst sie sich ohne scharfe Grenze in lockeres Fasergeflecht auf. Ihre Entwicklungsgeschichte steht natürlich im Zusammenhang mit derjenigen der Apothecien, wesshalb ich hierüber einige Worte vorausschicken will. Die Apothecien entstehen in der Gonimonschicht unmittelbar unter der obern Rinde. Sie erscheinen zuerst als verworrene Faserknäuel, welche offenbar der lebhaften Verästlung der zwischen den Gonidien verlaufenden Fasern ihren Ursprung verdanken. Bald nachher sprossen oberseits die parallelen Paraphysen hervor, deren Scheitelzellen (wie mir scheint, gleich von Anfang an) den Innenrand der Rinde berühren. Diese wird durch die weitere Entwicklung der lamina proligera etwas nach oben gewölbt, bleibt jedoch vorläufig noch ohne Unterbrechung, als sog. velum, über dieselbe ausgespannt. Ihre innern Zellen nehmen sehr früh eine braun-gelbe Färbung an, wodurch die Apothecienanlagen auf der Oberfläche wahrnehmbar werden. Das weitere Verhalten ist bekannt. — Mit dem ersten Auftreten der lamina proligera erscheint das Fasergeflecht an der Lagerunterseite bereits beträchtlich dichter geflochten, als im gewöhnlichen Markgewebe. Man beobachtet hie und da kleine solide Knäuel, die aber noch durch grössere luftführende Räume voneinander getrennt sind. Indem die letzteren allmählig verschwinden und die dichteren Partieen parenchymatisch werden, kommt jene schöne untere Rinde zu Stande, welche die obere an Mächtigkeit weit übertrifft.

grüne Farbstoff, der allerdings oft entschieden gelb-grün aussieht, reines Chlorophyll sei, muss ich dahin gestellt sein lassen. — Die Gonidien der im Marke zerstreuten Nester sind dagegen deutlich blau-grün, bei S. crocea fast blau, ohne Oeltropfen im Inhalt, in Form und Gruppirung mit dem typisch-blaugrünen Gonidien übereinstimmend. Ihre Membranen sind mehr oder weniger gallertartig verdickt; hie und da tritt in Folge dessen eine entschiedene Neigung zur Kettenbildung hervor. (In Fig. 10 auf Taf. IX, wo die grünen Zellen bis auf eine schmale Zone unter der Rinde einem Gonidiennest angehören, wurde die etwas abweichende Farbe der Gonimonschicht nicht wiedergegeben.)

Das Markgewebe und die Haftfasern verhalten sich wie bei Peltigera. Auch das für die letztere Gattung characteristische Adernetz der Lagerunterseite kommt bei S crocea in übereinstimmender Weise zur Entwicklung.

Solorina crocea L. Rindenschicht 40—80 Mik. dick, aus vorherrschend senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden Zellreihen gebildet, welche durch stark verdickte Membranen voneinander getrennt sind, während die Scheidewände zwischen den successiven Zellen derselben Reihe durch ihre weit schwächere Verdickung in die Augen fallen. Zunächst der Oberfläche beobachtet man bloss einzelne Zellhöhlungen in einer homogenen Masse (IX, 10). Die Gonidiennester, welche bald vollständig isolirt vorkommen, bald nach oben mit der eigentlichen Gonimonschicht in Verbindung stehen (Fig. 11), erweisen sich bei genauerer Untersuchung als dichte, unter dem Microscop hell erscheinende Faserknäuel, in welche die Gonidien eingebettet sind. — Die Markfasern sind mit Ausnahme der zunächst der Gonimonschicht gelegenen mit zahlreichen rothen Körperchen besetzt, welche die bekannte schöne Färbung der untern Lagerfläche bedingen. Nach Zusatz von Salzsäure oder Salpetersäure nehmen diese Körperchen einen mehr gelblichen Ton an (etwa gelblich-ziegelroth), bleiben übrigens unverändert. In Kali geht die Farbe in ein schönes Violett über; ausserdem bilden sich in der Umgebung der Schnitte violette Wolken, die aus einer grumösen Masse bestehen. Es ist diess, abgesehen von der Farbennüance, dieselbe Erscheinung, die man auch bei Physcia parietina und einigen Lecanoren beobachtet.

S. saccata L. Rindenschicht c. 20—40 Mik. dick, zunächst der Oberfläche mit stärker verdickten Zellwandungen. Markgeflecht mit spärlichen farblosen Einlagerungen.

Anmerkung. Eine eigenthümliche Darstellung der anatomischen Verhältnisse der Gattung Solorina gibt (nach Körber) Massalongo (Mem. Lich. p. 25). Nach ihm besteht der Thallus aus 4 gesonderten Schichten Die erste oder epidermoidale ist zusammengesetzt aus einem Gewebe von runden Zellchen; die zweite ist gänzlich fibrös mit sehr kleinen unregelmässigen Gonidien, die eine ihnen eigenthümliche Molecularbewegung zeigen; die dritte ist eine dicke gonimonische Schicht; die vierte ist zusammengesetzt aus verlängerten gegliederten Zellen, welche sich nach unten verlängern und den Filz der untern Lagerfläche zusammensetzen. Letztere Zellen (die Markzellen) sind mit zinnoberröthlichen Gonidien gemischt; in den zwei letzteren Schichten aber verdienen eine besondere Aufmerksamkeit einzelne reguläre Hohlräume, welche gekrümmt und voll von Gonidien von blauer oder besser grünlich-hellblauer Farbe sind. — Der geneigte Leser wird also auf 4 verschiedene Arten von Gonidien aufmerksam gemacht, zu deren näherer Kenntniss ich folgende Bemerkungen hinzufüge. Die erste Art mit Molecularbewegung habe ich nie beobachtet; die zweite Art bilden die grünen Zellen der gonimischen Schicht, die dritte von zinnoberröthlicher Farbe die oben erwähnten von den Markfasern ausgeschiedenen Körperchen, die sich in Kali violett färben, endlich die vierte der „regulären Hohlräume" die blau-grünen Gonidien, welche in die dichten Faserknäuel des Markes eingebettet sind.

Heppia Naeg.

Die anatomischen Verhältnisse dieser Gattung geben über die Verwandtschaftsbeziehungen derselben keinen genügenden Aufschluss, um ihr eine bestimmte Stelle im Systeme anweisen zu können. Ich reihe sie hier an die Peltideaceen an, weil sie in ihren carpologischen Merkmalen und durch die blaugrüne Farbe der Gonidien mit denselben übereinstimmt*. Mit Rücksicht auf den Thallus könnte sie wohl ebenso gut in die Nähe von Pannaria gestellt werden.

Jüngere Exemplare, sowie lebhaft vegetirende Lappen von geringerer Mächtigkeit, sind durch und durch parenchymatisch, mit grossen dünnwandigen Zellen (Taf. IX Fig. 1). Die Gonidien (deren ursprünglich blau-grüne Farbe hier häufig in die schmutzig-gelbgrüne umgewandelt ist) erscheinen in diesem Falle als einzelne grüne Zellen im Parenchym, welche nahezu in der ganzen Dicke des Thallus ziemlich gleichmässig zerstreut liegen, so zwar, dass ober- und unterseits nur einige wenige Zellschichten (zuweilen auch nur eine einzige) gonidienlos bleiben und daher als Rinde betrachtet werden müssen.

Bei älteren Exemplaren oder bei Lappen von grösserer Dicke ist dagegen der mittlere Theil des Thallus gewöhnlich fibröser Natur: die Zellen sind mehr oder weniger verlängert und berühren sich nur mit ihren Endflächen, während die Seitenwandungen ganz oder theilweise frei sind. Das Gewebe erscheint daher locker und lufthaltig. Die Zellreihen oder Zellfäden, welche dasselbe bilden, sind bald unregelmässig verflochten, bald verlaufen sie in vorherrschend senkrechter Richtung von einer Rinde zur anderen und setzen sich beiderseits an den Innenrand derselben an. Von diesem lockern, dünnwandigen Fasergeflecht bis zum geschlossenen grosszelligen Parenchym beobachtet man alle möglichen Uebergänge. Von der untern Rinde gehen einzelne Zellfäden ab, welche den sogenannten Hypothallus bilden.

(*) Die Apothecien sind bekanntlich, wie bei Solorina, ganz in den Thallus eingesenkt. Das Hypothecium ruht auf einem lockeren, Gonidien führenden Fasergeflecht, welches unterseits in eine schön-parenchymatische, aus 3—5 Zellschichten bestehende Rinde übergeht. Obschon nun freilich diese untere Rinde in vielen Fällen durchgehends zur Entwicklung kommt (was bei Solorina nicht der Fall ist), so ist sie doch an den den Apothecien entsprechenden Stellen stets deutlicher vom Marke abgegrenzt und schöner ausgebildet

Umbilicaria Hoffm. emend.

Die Umbilicarien bilden jedenfalls eine der natürlichsten Familien im System. Die zwei Gattungen, aus welchen dieselbe besteht, sind schon durch ihren eigenthümlichen Habitus vor den übrigen Lichenen in hohem Grade ausgezeichnet; sie erscheinen gleichsam als fremdartige Gebilde in die Reihe derselben eingeschoben und stehen nur mit den laubartigen Formen von Endocarpon in näherer verwandtschaftlicher Beziehung und auch mit diesen nur in Bezug auf den Thallus. Unter sich zeigen sie dagegen eine so grosse Uebereinstimmung, dass die anatomischen Verhältnisse des letztern zur Abgrenzung derselben kaum ausreichen, indem die nachstehend hervorgehobenen Unterschiede nur bei typisch ausgebildeten Exemplaren scharf hervortreten.

Von dem zunächst zu besprechenden Genus Umbilicaria Hoffm. habe ich bloss einen einzigen Repräsentanten, U. pustulata, genauer untersucht. Bei diesem ist der Thallus beiderseits berindet (Taf. VIII Fig. 15), obere und untere Rindenschicht schön-parenchymatisch mit vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen, welche den einzelnen Fasern entsprechen. Die Wandungen der Rindenzellen sind oberseits nur wenig, unterseits etwas stärker verdickt, zunächst der Oberfläche, wie gewöhnlich, braun oder gelblich gefärbt.

Die Gonidien bilden eine zusammenhängende grüne Zone von geringer Breite; sie sind in ein lockeres, lufthaltiges Fasergeflecht eingebettet, welches den oberen Theil der Markschicht bildet. Die letztere besteht hier aus unregelmässig verflochtenen, jedoch vorherrschend von unten nach oben verlaufenden Fasern; sie erscheint unter dem Microscop dunkler, als in der etwas dichter geflochtenen untern Hälfte, welche überdiess durch die vorherrschend radiale Richtung der Fasern sich von jener unterscheidet.

Die Markfasern verlaufen also im untern Theil der Markschicht in radialer Richtung parallel mit der Oberfläche und gehen nach beiden Seiten in bogenförmigem Verlaufe — oberseits zwischen den Gonidien hindurch — in die Rinde über. Schon dieses anatomische Factum würde es sehr wahrscheinlich machen, dass das Marginalwachsthum durch senkrecht zur Oberfläche verlaufende Fasern vor sich geht. Durchschnitte durch den Rand beweisen, dass diess wirklich der Fall ist; doch erscheint der Faserverlauf selten so regelmässig als bei manchen andern Gattungen.

Das intercalare Wachsthum betreffend, geben die Gruben auf der Unterseite des Lagers, welchen die blasigen Auftreibungen auf der oberen entsprechen, einige Anhaltspunkte. Dieselben sind in der Nähe des Randes sehr klein und nehmen bis tief in's Innere des Thallus allmählig an Umfang zu. Sie erreichen wenigstens das 10—20fache ihrer ursprünglichen Grösse. In demselben Verhältniss dehnt sich natürlich jedes andere Flächenelement aus; denn wenn auch angenommen werden muss, dass das intercalare Wachsthum an den grubig vertieften Stellen etwas stärker sei, als zwischen denselben, so hängt von diesem Unterschiede doch bloss die stärkere oder schwächere Wölbung der Fläche, aber

keineswegs der Durchmesser der letzteren ab. Somit best
Gesetz, dass das intercalare Wachsthum an der Fläch
einen weit grössern Antheil habe, als das Marginalwachst

Die Gruben auf der Unterseite des Thallus sind üb
Beziehung von Interesse. Die parenchymatische untere
ganzen Ausdehnung derselben unterbrochen und folglich
gewebe blossgelegt. Das letztere bildet nun freilich wied
ein interstitienloses kleinzelliges Fasergeflecht, das jedo
durch seine ganz verschiedene Physiognomie gegen da
primären Rindenschicht absticht (Fig. 15 rechts). Dieses
erinnert unwillkührlich an die Cyphellen und weissen Flec
und es liegt die Vermuthung nahe, es möchten vielleicht
der Pflanze die nämliche Rolle spielen.

Einen weitern Anhaltspunkt zur approximativen Bes
Wachsthums bieten die abgestorbenen Gonidien. Dieselb
suchten Exemplaren nicht bloss im centralen Theil des
unmittelbarer Nähe des Randes in der ganzen Dicke de
(Fig. 17) — ein Beweis, dass das Marginalwachsthum
hört hatte. Die einzelnen Zellen bildeten hie und da
lagen aber doch durchschnittlich so weit auseinander,
starken intercalaren Wachsthums sich von selbst als die
drängte, um die ursprüngliche Lagerung in der Gonimo
lichen Vorkommen im abgestorbenen Zustande in Einkla

Dieses intercalare Wachsthum bedingt nicht alle
Thallus in die Fläche, es ist zugleich auch Dickenw
schon aus dem Umstande hervor, dass die abgestorbe
Richtung von unten nach oben, senkrecht zur Obert
liegen als die lebenskräftigen der Gonimonschicht. Da
Thatsache überein, dass der Thallus trotz des Verluste
sterben der oberen Rinde fortwährend erleidet, in der
trächtlich dicker ist als am Rande, indem er hier z. B
Millimeters misst.

Da die zersetzende Wirkung der Atmosphäre, v
Rindengewebe fortgeführt, ja möglicher Weise das Abs
auf den verschiedenen Punkten der Oberfläche ungleic
erscheinen auf Durchschnitten die Umrisse der Rinden
Sie springt hie und da zackenförmig vor und zeigt a
schnitte. Ebenso verhält sich übrigens auch die unter
die Frage gestellt werden, ob auch hier ein allmäh
nach oben und ein entsprechender Ersatz durch interc
Diesen Punkt mit Sicherheit zu entscheiden, war mir
Rinde sieht allerdings stellenweise so aus, als ob ein
hätte, doch wage ich nicht, auf dieses blosse Aussehen h
den und betrachte die Frage in Ermanglung besserer Ant

Umbilicaria pustulata Hoffm. Die Rindenschicht ist beiderseits circa 60 Mik. dick und, wie bereits erwähnt, sehr unregelmässig conturirt, indem einzelne Fasern und Fasercomplexe über die anderen hervorstehen. Die corallinisch verzweigten Auswüchse, welche Körber (S. L. G. p. 94) beschreibt, habe ich nicht näher untersucht; ich bezweifle indess die Richtigkeit seiner Angabe, dass solche Gebilde oft mit krugförmiger Mündung vorkommen und dann „eine gonimische Zelle öfters am Ende“ zeigen. Auch die Bemerkung, dass die Markschicht „aus äusserst zarten Fadenzellen“ bestehe, ist unrichtig, insoferne damit gesagt sein soll, dass die Markfasern hier dünner seien, als bei den meisten andern Gattungen.

Gyrophora Ach.

Von der vorhergehenden Gattung insbesondere durch zwei leicht in die Augen fallende Merkmale verschieden: 1) das gänzliche Fehlen der Gruben auf der Unterseite des Thallus, 2) das abweichende Verhalten der unteren Rinde, womit denn auch der Faserverlauf in der Krümmung des Randes im Zusammenhang steht.

Die untere Rinde erscheint nämlich als ein kurzzelliges, fibröses Gewebe, welches sich nur durch den unregelmässigen Faserverlauf und die etwas kürzeren Zellen von der radialfaserigen Markschicht unterscheidet, übrigens durch keine scharfe Grenze von derselben geschieden ist. Vielmehr kann der ganze untere Theil des Thallus, soweit er interstitienlos ist, als ein einheitliches Ganzes betrachtet werden, welches etwa dem Rindengewebe von Cornicularia zu vergleichen wäre, dessen oberflächlicher Theil ebenfalls aus kurzzelligen und unregelmässig verflochtenen Fasern besteht. Die Uebereinstimmung spricht sich auch darin aus, dass die Lumina dieser oberflächlichen Fasern im ältern Thallus beträchtlich grösser werden, wodurch das Gewebe ein parenchymatisches Aussehen erhält.

Der obere lockerfilzige Theil des Markes zeigt im Verhältniss zur Thallusdicke eine sehr verschiedene Mächtigkeit. Zuweilen bildet er nur eine schmale Zone unterhalb der Gonimonschicht und zwischen den einzelnen Gonidiengruppen; er kann sogar stellenweise oder selbst durchgehends gänzlich fehlen, indem der Thallus aus einem vollkommen interstitienlosen Gewebe besteht. In anderen Fällen nimmt er auf Durchschnitten ungefähr $1/3$ — $1/2$ der ganzen Breite ein und springt sogar hie und da so weit nach unten vor, dass nur wenige Zellschichten (zuweilen auch nur eine einzige) als Rinde übrig bleiben.

Bezüglich der oberen Rindenschicht verweise ich auf die Angaben bei den einzelnen Arten. Ich bemerke hier nur, dass sie bald parenchymatisch, wie bei Umbilicaria, bald fibrös oder doch undeutlich parenchymatisch erscheint, und dass sie zuweilen fast gar nicht zur Entwicklung kommt, indem die Gonidien beinahe an der Oberfläche liegen. Abgestorbene gonimische Zellen kommen bei grösseren Exemplaren ebenfalls in der ganzen Dicke der Rinde vor.

Der Faserverlauf in der Krümmung des Randes ist gewöhnlich sehr unregelmässig. Bei G. vellea kann derselbe mit Rücksicht auf die vorherrschend vertretene Richtung ein orthogonal-trajectorischer genannt werden, da wenigstens die Faserenden annähernd rechtwinklig gegen die Oberfläche ausbiegen. Bei den übrigen Arten lässt sich hierüber kaum etwas Allgemeines sagen. Bei den einen erscheint das Gewebe äusserst verworren (in noch höherem Grade als bei Hagenia); bei den andern ist die radiale Richtung der Fasern vorwiegend vertreten. Doch mögen auch hierin verschiedene Exemplare derselben Art sich abweichend verhalten.

Die Unterfläche des Thallus ist bald glatt, bald mit zahlreichen verschiedengestaltigen Warzen oder Papillen besetzt, welche meist aus einer grössern Zahl kurzzelliger, zu einem dichten Gewebe verbundener Fasern bestehen. Zuweilen kommen auch förmliche Haftfasern vor, die aus einem durch und durch soliden, äusserst verworrenen Fasergeflecht bestehen und sich oft sogar wiederholt verästeln.

Gyrophora vellea L. (Taf. X Fig. 13). Der ganze Thallus ist in seinem mittleren Theil c. 500, am Rande dagegen nur 150—250 Mik. dick. Die obere Rindenschicht ist schön-parenchymatisch und von ziemlich ungleichmässiger Dicke, indem einzelne grüne Zellen beinahe an der Oberfläche liegen, während an andern Stellen das Rindenparenchym nach innen oder nach aussen vorspringt. Die mittlere Mächtigkeit derselben kann etwa zu 20 — 24 Mik. angegeben werden. Bei den untersuchten Exemplaren enthielt sie zahlreiche abgestorbene Gonidien. Die Gonimonschicht erscheint gewöhnlich, wenigstens in ihrem oberen Theil, ebenfalls parenchymatisch, d. h. die Gonidien bilden mit den Faserzellen, denen sie an Form und Grösse ungefähr gleichkommen, ein schönes Parenchym. An der untern Grenze dagegen, wo eine fortwährende Neubildung von Gonidien stattfindet, sowie auch in dem anliegenden Streifen der Markschicht ist das Gewebe lockerfilzig und lufthaltig und überdiess durch den sehr unregelmässigen Faserverlauf characterisirt. Der ganze übrige Theil des Thallus endlich, welcher gegen die Mitte hin oft mehr als die Hälfte der ganzen Dicke einnimmt, besteht aus einem dichten, unter dem Microscop hell erscheinenden Fasergeflecht, das zunächst der Oberfläche keine, weiter von derselben entfernt (etwas tiefer im Innern) nur spärliche luftführende Interstitien zeigt. Der oberflächliche Theil dieses Gewebes (namentlich auch die zahlreichen Vorsprünge desselben) ist kurzzellig und verworrenfilzig und hat im ältern Thallus häufig ein parenchymatisches Aussehen. Tiefer im Innern dagegen verlaufen die Fasern in radialer Richtung parallel mit der Oberfläche und bestehen aus mehr oder weniger langgestreckten Zellen mit kleinen Höhlungen (Taf. X Fig. 11).

Im peripherischen Theil der oberen Rinde und in einer schmalen Zone unterhalb der Gonimonschicht finden sich zahlreiche kleine Körperchen eingelagert, welche in Säuren unverändert bleiben, in Kali sich aber sogleich auflösen. Kali entfärbt auch den braunen Rand der oberen und unteren Rinde.

G. hyperborea Ach. (Taf. X Fig. 12). Der peripherische Theil des Thallus ist stellenweise bloss 30—60, an andern Stellen bis 100 Mik. dick und darüber und dann nur an diesen Stellen, welche hügelartig nach oben vorspringen, gonidienführend. Dagegen zeigt der mittlere Theil und bei kräftiger entwickelten Exemplaren wohl auch der ganze Thallus, wenigstens auf grösseren Strecken, eine ziemlich gleichmässige Dicke und dann auch eine continuirliche Gonidienzone. Die obere Rinde ist c. 12 — 16 Mik. dick und besteht aus dickwandigen Zellen mit brauner Membran; sie sieht auf dünnen Schnitten ähnlich aus, wie die Rinde von Evernia furfuracea (s. I Taf. V Fig. 2). Das Gewebe unterhalb der Gonimonschicht verhält sich im Allgemeinen, namentlich auch in Beziehung auf den Faserverlauf, wie bei vorhergehender Art; nur ist der dichtfilzige Theil desselben stellenweise sehr dünn (8 — 10 Mik.), während er an anderen Stellen, z. B. bei einer Thallusdicke von 220 Mik., eine Mächtigkeit von 60 — 80 Mik. erreicht. — Abgestorbene Gonidien zwischen den lebenden und bis an den Rand der oberen Rinde beobachtet.

G. polyphylla L. Der Thallus hat eine ziemlich gleichmässige Dicke (in der Nähe des Randes beispielsweise 150 Mik.) und eine continuirliche Gonidienzone. Im Uebrigen verhält er sich wie bei vorhergehender Art. Der dichtfilzige untere Theil nimmt auf Durchschnitten häufig $^{1}/_{3}$ — $^{2}/_{3}$ der ganzen Breite ein; er erscheint unter dem Microscop hell, zeigt indess hie und da grössere oder kleinere Interstitien. Faserverlauf im Marginaltheil bald vorherrschend radial, bald äusserst unregelmässig.

G. flocculosa Hoffm. Mit zahlreichen, öfters parenchymatisch aussehenden Prolificationen auf der Oberfläche, wovon die grösseren Gonidien enthalten. Im Uebrigen wie die vorhergehenden Arten. —

G. cylindrica L. (Umbilicaria polymorpha α cylindrica Schaer.) Die obere Rindenschicht erreicht hier eine Mächtigkeit von 40—50 Mik.; sie besteht aus einem ziemlich kurzzelligen Fasergeflecht mit kleinen Zellhöhlungen. Im Uebrigen wie die vorhergehende Art. (Taf. X Fig. 10).

G. anthracina Wulf. Das Gewebe des Thallus ist hier durch und durch dichtfilzig und zeigt selbst in der Gonidienzone nur sehr spärliche Interstitien. Es erscheint daher unter dem Microscop von einem Rand bis zum anderen hell und lässt obere und untere Seite bloss an der Lagerung der grünen Zellen erkennen. Wo letztere nicht zur Entwicklung gekommen sind, was in der Nähe des Randes zuweilen auf grösseren Strecken der Fall ist, da fehlt vollends jedes Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Lagerflächen. — Der Faserverlauf ist zwar gewöhnlich sehr unregelmässig, kann aber dennoch im ganzen mittleren Theil des Thallus als ein vorherrschend radialer bezeichnet werden. Zunächst der Lagerunterfläche erscheint das Gewebe, wie gewöhnlich, sehr verworren und kurzzellig; in der Gonimonschicht und in der obern Rindenschicht steht die vorwiegende Wachsthumsrichtung der Fasern senkrecht zur Oberfläche. — Die grünen Zellen sind stellenweise kaum 12 — 16 Mik. vom obern Rand entfernt. Abgestorbene Gonidien, zuweilen fast ebenso zahlreich als die lebenden, finden sich in der ganzen Dicke der oberen Rinde.

Endocarpon Kbr.

Das alte Genus Endocarpon wurde bekanntlich von de logen, so von Körber, in mehrere Gattungen zerlegt, wovon artigen, die übrigen zu den Krustenflechten gehören. Es lä in Abrede stellen, dass der Thallus dieser verschiedenen Gattun Beziehung zur Unterlage, sowohl mit Rücksicht auf den äusse den innern anatomischen Bau, ein abweichendes Verhalten zeig Aufstellung verschiedener Typen rechtfertigt. Dessenungeachte nauere Prüfung der angeblichen Differenzen kaum zu Guns gehenden Zersplitterung ausfallen und namentlich die Angabe denen Ursprung der Apothecien (bald aus dem Thallus, bald au sich als irrthümlich herausstellen. Wie dem auch sei, in den hältnissen des Thallus, wovon hier allein die Rede ist, stimm präsentanten der alten Gattung (soweit meine Beobachtungen facher Beziehung miteinander überein, und es liegt jedenfal nach Ausscheidung der laubartigen Formen aus den übrig h artigen (Endopyrenium und Catopyrenium Kbr.) mehr a Gruppe oder einen Typus zu bilden.

Die Arten mit laubartigem Lager, welche zum Genus En geren Sinne gehören, und welche ich hier zunächst genauer b durch ihre Befestigung auf der Unterlage vermittelst eines G beiderseitige ununterbrochene Berindung und den gänzlichen fasern characterisirt*. Die obere Rinde ist schön-parenchym wandigen gegen die Oberfläche kleiner werdenden Zellen, we undeutliche, senkrecht zur Oberfläche stehende Reihen geordn Scheidewände zwischen den successiven Zellen derselben R wöhnlich etwas zarter als die Seitenwandungen und überdiess, nicht gar zu dünnwandig ist, durch ihre genau parallel lauf Faserquerwände zu erkennen. Nach innen ist das Rindenpar nicht scharf abgegrenzt, indem auch der peripherische The parenchymatisch erscheint, so dass die Gonidien sich bloss du den übrigen Zellen unterscheiden (Taf. X Fig. 1 und 2). Di sich übrigens nur auf zarten Durchschnitten beobachten; auf Gonidienschicht eine ununterbrochene grüne Zone, deren äusse parallel mit der Oberfläche verläuft.

Die untere Rinde ist in der Regel beträchtlich dicker als 60 Mik. und darüber) und von dem lockerfilzigen, luftführe

---

(*) Bei einer einzigen Species, die ich nicht kenne, E. Moul Beschreibung zufolge die Unterseite des Thallus mit einem dichten F nach wäre also das Vorkommen eines „Hypothallus" für die krustena wegs characteristisch.

geschieden. Sie besteht übrigens ebenfalls aus einem schönen Parenchym, das entweder vollkommen mit der oberen Rinde übereinstimmt oder doch nur durch etwas grössere Zellen und etwas stärkere Verdickung der Wandungen sich von derselben unterscheidet (Fig. 1^b).

Die Markfasern verlaufen im oberen Theil des Markes vorherrschend senkrecht zur Oberfläche, im kleineren unteren dagegen — freilich mit vielen Abweichungen und Unregelmässigkeiten — parallel mit derselben. In diesem sind die Faserzellen mehr oder weniger langgestreckt, in jenem erscheinen sie kurz und dünnwandig und bilden zunächst der oberen Rinde, wie bereits erwähnt, ein parenchymatisches Gewebe. Der radialfaserige Theil der Markschicht ist stets gonidienlos; aber schon unmittelbar über demselben beobachtet man einzelne grüne Zellen. Sie werden nach oben häufiger bis zur eigentlichen Gonidienzone.

Das Marginalwachsthum des Thallus wird durch senkrecht zur Krümmung des Randes verlaufende Fasern vermittelt (Fig. 9). Es unterliegt keiner Schwierigkeit, einzelne Fasern mit ihren Verästlungen durch Kochen des Präparats in Kali und Anwendung eines schwachen Druckes insoweit zu isoliren, dass sie vom Rande bis in's Innere des Markgeflechtes verfolgt werden können. Man überzeugt sich dann, dass die Faserzellen, soweit sie die Rinde bilden, sehr kurz, schnurförmig aneinander gereiht und allem Anschein nach noch in Theilung begriffen sind, während sie im Marke mehr oder weniger langgestreckt erscheinen und sich — wie ich vermuthe — nicht mehr theilen. Das Gewebe sieht bis auf eine gewisse Entfernung vom Rande entschieden jünger aus, als tiefer im Innern, erhält jedoch sehr bald seine gewöhnliche Physiognomie. Demzufolge scheint das intercalare Wachsthum vorzugsweise auf eine schmale Zone in der Nähe des Randes beschränkt zu sein und tiefer im Innern entweder vollständig aufzuhören oder doch keine merkliche Ausdehnung in die Fläche hervorzurufen. Dafür spricht auch die ziemlich gleichförmige Vertheilung der Apothecien auf der Oberfläche.

Die Gonidien werden ausschliesslich von den nach oben wachsenden Fasern gebildet und treten daher erst innerhalb des eigentlichen Krümmungsscheitels (in welchem obere und untere Rinde ineinander übergehen) auf. Dem entsprechend ist der untere Theil des Thallus gonidienlos (Fig. 9).

Endocarpon miniatum L. Obere Rinde c. 20 — 40 Mik. dick, schön parenchymatisch mit dünnwandigen, gegen die Oberfläche kleiner werdenden Zellen, deren mittlerer Durchmesser c. 6 — 8 Mik. beträgt. Untere Rinde 50 — 60 Mik. dick, mit etwas stärker verdickten Zellwandungen, im Uebrigen mit der obern übereinstimmend. Gonidienzone nach unten nicht scharf abgegrenzt, indem einzelne zerstreute Gonidien tief im Innern der Markschicht liegen und z. B. bei einer Thallusdicke von 340 Mik. bloss 100 Mik. von der untern Rinde abstehen. Todte Gonidien (durch Jod in Jodkalium nachweisbar) kommen im ältern Thallus zwischen den lebenden und bis auf eine Entfernung von 10 Mik. von der Oberfläche in beträchtlicher Zahl vor; dagegen habe ich im Innern des Markes nur ganz wenige beobachtet. (Hiezu Fig. 1 – 4).

E. fluviatile Web. Mit der vorhergehenden Art übereinstimmend; nur ist die untere Rindenschicht durchschnittlich weniger mächtig (30 — 60 Mik.) und sind die Wandungen der Zellen entweder ganz dünn oder doch weniger verdickt. An einem Thallus von 220—300 Mik. Dicke war beispielsweise die obere Rinde 20 und die untere 40 — 50, die Gonimonschicht c. 80 — 100 Mik. dick. Die Zellen der oberen Rinde waren sehr klein (c. 4 — 6 Mik. im Durchmesser), die der untern beinahe doppelt so gross (8—10 Mik.); die Scheidewände beiderseits sehr dünn. (Hiezu Fig. 9).

E. Guepini Moug. Eine obere Rindenschicht war bei den von mir untersuchten Exemplaren nicht vorhanden, da die Gonidienzone unmittelbar an der Oberfläche lag und nur hie und da von einzelnen Fasern überwuchert wurde. Die Gonidien sind bläulich-grün und finden sich in grosser Zahl im oberen Theil des Markgewebes, oft sogar in der ganzen Dicke desselben. Untere Rinde c. 40—60 Mik. dick, deutlich vom Marke abgegrenzt, parenchymatisch, mit dünnen Scheidewänden zwischen den successiven Faserzellen und mehr oder weniger verdickten Seitenwandungen. Die Zellen sind gewöhnlich etwas länger als breit. — Der Thallus ist c. 160 — 200 Mik. dick. (Hiezu Fig. 7).

Endopyrenium. Catopyrenium Kbr.

Diese beiden Gattungen, welche sich äusserlich durch ihren krustenartigen Habitus von der vorhergehenden unterscheiden, sind mit Rücksicht auf ihren anatomischen Bau durch den Mangel einer ununterbrochenen, deutlich abgegrenzten untern Rindenschicht, sowie ferner durch den mehr oder weniger stark entwickelten Hypothallus characterisirt. Ueberdiess ist auch der Faserverlauf im Marginaltheil des Thallus etwas abweichend.

Die obere Rinde ist 40 — 60 Mik. dick, schön-parenchymatisch, mit dünnwandigen, nur zunächst der Oberfläche ziemlich dickwandigen Zellen, welche meist in undeutlichen, senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Reihen stehen. Sie gewährt so ziemlich denselben Eindruck, wie bei Endocarpon. Ebenso die Gonimonschicht. (X, 5, 6, 8).

Das Mark ist bald deutlich fibrös und besteht dann aus kurzzelligen, vorherrschend von unten nach oben verlaufenden Fasern, die zu einem lockern Filzgewebe verflochten sind; bald erscheint es als dünnwandiges, oft ziemlich grosszelliges Parenchym mit grössern und kleineren Interstitien. Zunächst der untern Lagerfläche ist das Gewebe gewöhlich etwas dichter; es bildet stellenweise eine förmliche Rindenschicht, deren Zellen ebenso dicht aneinander schliessen, als die der oberen Rinde (Fig. 8^b), und ist überdiess durchgehends durch die braune Färbung der Membranen characterisirt. Man kann daher immerhin sagen, dass der Thallus auch unten eine bestimmte Abgrenzung zeige, welche gewissermassen die Stelle der untern Rinde vertritt. Wie aus der letztern bei den laubartigen Flechten die Haftfasern hervorsprossen, so entstehen hier aus dem braunen Gewebe der untern Lagerfläche die Fasern des Hypothallus. Die Entwicklung dieser letzteren lässt sich auf Durchschnitten durch den Rand (Fig 6) sehr leicht verfolgen. Man sieht, wie die oberflächlichen Zellen der untern Seite kleine Ausstülpungen bilden und wie die so gebildeten Faseranlagen in gleicher Weise, wie die Filzfasern von Sticta u. a. sich weiter entwickeln. Allerdings macht man auf solchen Durchschnitten auch häufig genug die Wahrnehmung, dass der Hypothallus in der Nähe des Randes abgestorben ist und nur kurze Faserstücke, alle ohne Scheitelzellen, zurückgelassen hat. Dieser Umstand beweist indess bloss die Hinfälligkeit des Hypothallus und gibt für dessen Entwicklungsgeschichte keinerlei Anhaltspunkte.

Die Hypothallusfasern sind dünnwandig und in der Regel braun gefärbt, selten farblos. Sie bilden ein ziemlich dichtfilziges schwammiges Gewebe, welches an Mächtigkeit nicht selten den ganzen Thallus übertrifft. Die einzelnen Zellen sind gewöhnlich etwas langgestreckt.

Die Lichenologen sind gewohnt, diesen Hypothallus oder Protothallus als das „organum primarium“ zu betrachten, auf welchem der Thallus sich aufbaut. Auch Körber fügt bei Catopyrenium die Bemerkung bei, diese Gattung sei durch einen acolytisch ausgebreiteten Protothallus characterisirt, aus welchem, die Kruste durchbrechend, die Apothecien entspringen. Gegen diese Anschauungsweise muss ich mich aufs entschiedenste erklären. Der Protothallus sprosst aus dem Thallus, nicht dieser aus jenem hervor. Wenn er sich hie und da stärker entwickelt und „acolytisch“ ausgebreitet erscheint, so gibt ihm diess keine andere morphologische Bedeutung. Auch die Aeste der höheren Pflanzen ragen ja oft weit über die Stammspitze hinaus, obwohl sie unterhalb derselben in der Achsel eines Blattes ihren Ursprung genommen.

Was die Entwicklung der Apothecien betrifft, so habe ich hierüber keine besonderen Studien gemacht, bin aber dessenungeachtet vollkommen überzeugt, dass diejenigen, welche ich auf Durchschnitten durch den Thallus zufällig zu beobachten Gelegenheit hatte, nicht aus dem Protothallus entstanden sind *.

Das Marginalwachsthum des Thallus findet nicht, wie bei vorhergehender

---

(*) Die Apothecien der beiden Gattungen Endopyrenium und Catopyrenium verhalten sich im Wesentlichen vollkommen gleich Bei beiden besteht das Excipulum aus einem interstitienlosen Gewebe von aussen nach innen zusammengedrückter Zellen, welche stellenweise parallel der Oberfläche (des Excipulums) verlaufende Reihen bilden, an andern Stellen prosenchymatisch ineinander greifen. Die Membran dieser Zellen ist nur wenig verdickt, im jugendlichen Zustande farblos; später erscheint dieselbe schwach gelblich oder auch tief braun gefärbt. Diese Färbung scheint zunächst dem ostiolum zu beginnen und von da nach dem untern Theil vorzurücken; dafur sprechen wenigstens mehrere Fälle, wo der obere Theil des Excipulums braun gefärbt, der untere noch farblos war. Die 4 — 6 Zellschichten des Excipulums stechen gewöhnlich deutlich vom umgebenden Markgewebe ab, stehen aber nichtsdestoweniger (auch bei Catopyrenium) mit demselben in anatomischem Zusammenhang. Sie können daher nicht wohl von unten in die Markschicht hineingeschoben sein. Oder hat vielleicht irgend Jemand junge Apothecienanlagen im Hypothallus bemerkt? Kennt man Entwicklungsstadien, wo dieselben im Begriffe waren, die Kruste zu durchbrechen? Wo nicht, so ist der angebliche Ursprung der Apothecien im Protothallus mehr als zweifelhaft.

Gattung durch senkrecht zur Oberfläche wachsende Fasern st
verlaufen vielmehr zunächst der Unterseite des Lagers mit der O
biegen dann, beim Rande angekommen, nach oben aus, indem s
desselben folgen, bis sie die obere Rinde erreicht haben (Fig
Lichte entgegen wachsenden Fasern bilden auch hier, wie bei
Gonidien.

Endopyrenium pusillum Hedw. Obere Rinde 40 — 60
dünnwandigen Zellen von 8 — 12 Mik. Diameter bestehend, obe
braun gefärbt (Fig. 8^a). Gonidien gelb-grün, bei schwacher V
zusammenhängende Schicht bildend, meist auf die obere Hälfte
kleineren Theil des Markes beschränkt. Das Letztere ist bald
renchymatisch, mit dünnwandigen, locker verbundenen Zellen
Diameter, bald ausgesprochen fibrös mit dem oben erwähnten Fa
Rinde stellenweise sehr schön entwickelt, aus grossen dünnwan
stehend (Fig. 8^b), an andern Stellen bloss durch ein etwas dich
gefärbten Membranen angedeutet.

E. **rufescens** Ach. Verhält sich im Wesentlichen wie
Art. An den untersuchten Exemplaren war die Mehrzahl der
farblos und die obere Rinde durchgehends etwas kleinzelliger.

E. **daedaleum** Krplhbr. Obere Rinde c. 20 Mik. di
parenchymatisch. Gonidien gelb-grün, nach unten weit in's
springend. Mark locker parenchymatisch oder fibrös, mit dün
im Habitus wie bei **Catopyrenium cinereum**.

E. **monstrosum** Ach (Endocarpon miniatum var. mon
Obere Rinde von sehr verschiedener Dicke, dünnwandig-pare
senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fasern gebildet. Gon
Mark lockerfilzig, im ganzen untern Theil bis hinauf zur Gonidi
saurem Kalk incrustirt.

Catopyrenium cinereum Pers. Mit den vorhergehen
einstimmend. Der Thallus ist gewöhnlich durch und durch pare
tener fibrös mit kurzzelligen, dünnwandigen Fasern (Fig. 5, 6).
des Thallus enthalten die Zellen meist grössere oder kleinere
sich in Jod schwach gelblich färben. Junge Hypothallusfasern
habe ich auf Durchschnitten durch den Rand häufig beobachtet*

(*) Nach **Körber** (Syst. p. 325) sind „die anatomischen Verhä
und Protothallus sehr interessant und besonderen Studien zu empfehle
des Lagers und die roth-braunen schnurförmig gereihten Zellen des Pro
zu Täuschungen Veranlassung geben.“ Dass das letztere wirklich der
eigene Angabe, dass der Protothallus „aus schwammigen gedrehten Fase
Fasern habe ich bei meinen Untersuchungen nie beobachtet, ebensowen
reihte Zellen (wenn damit rosenkranzförmige Reihen gemeint sind) Der
sich im Gegentheil in anatomischer Hinsicht genau wie bei den vorherg

Placidium MASS.

Ich zähle hieher Placidium Custnani Mass. Exs. 187 und Hepp Eur. 669. Beide Flechten wurden mir von Herrn Dr. Hepp in Originalexemplaren mitgetheilt; sie stimmen vollkommen miteinander überein, nur sind die Lagerschüppchen des Massalong. Originalexemplars etwas kräftiger entwickelt.

Der innere Bau des Lagers ist in mancher Hinsicht von dem der vorhergehenden Gattungen verschieden; ja man kann geradezu behaupten, dass eine nähere Verwandtschaft mit denselben im Thallus nicht ausgesprochen sei. Die Durchschnitte geben ein habituell so sehr abweichendes Bild, dass mindestens eine generische Verschiedenheit zwischen den zu Endopyrenium gehörigen Arten (E. rufescens, pusillum etc.) einerseits und Placidium Custnani andererseits angenommen werden muss. Dagegen ist die Uebereinstimmung mit Lenormandia eine sehr augenfällige, und ich hätte vielleicht besser gethan, beide als Repräsentanten eines Typus aufzuführen.

Die obere Rinde ist kleinzellig-parenchymatisch, im Mittel etwa 20—24 Mik. dick, hie und da auch etwas dicker oder dünner. Die Zellen sind in tangentialer Richtung langgestreckt, die oberflächlichen abgestorben. Die Gonidien sind gelbgrün, in der Gruppirung ganz wie bei Endocarpon und Endopyrenium; sie erfüllen das Markgewebe in seiner ganzen Dicke oder bilden wenigstens eine verhältnissmässig breite Zone. Der obere Theil des Markes ist locker parenchymatisch und erscheint auf zarten Durchschnitten als ein zierliches Zellennetz; der untere nimmt meist einen fibrösen Character an und zeigt zahlreichere Interstitien. Eine eigentliche untere Rinde fehlt, doch wird das Fasergeflecht zunächst der Lagerunterfläche gewöhnlich wieder etwas dichter und stellenweise — ganz wie bei Lenormandia — auch vollkommen interstitienlos.

Lenormandia DEL.

Als Repräsentanten dieser Gattung betrachte ich folgende als L. Jungermanniae Delis. ausgegebene Flechten, welche mir sämmtlich von Herrn Dr. Hepp in Originalexemplaren mitgetheilt wurden: Hepp Eur. 476. Nylander Exs. 89, Zwackh Exs. 245. Die Leighton'sche Species (Lich. Brit. exs. 25) gehört dagegen nicht hieher, sondern zu Pannaria.

Der innere Bau der kleinen Lagerschüppchen, deren Dicke c. 40—70 Mik. beträgt, stimmt in manchen Fällen so auffallend mit den jungen Thallusanlagen von Parmelia (z. B. P. stellaris) überein, dass man eine nähere verwandtschaftliche Beziehung zwischen beiden vermuthen möchte, würde nicht das abweichende Verhalten der Haftfasern und das innige Verwachsen der Lagerunterfläche mit dem Substrat, was bei L. nicht selten auf grössern Strecken stattfindet, von vorneherein einige Bedenken einflössen. Aber wenn auch diese Uebereinstimmung als eine rein zufällige betrachtet wird, so ist es immerhin eine erwähnenswerthe Thatsache, dass sich Durchschnitte durch entsprechende Entwicklungsstadien oft zum Verwechseln ähnlich sehen.

Die obere Rinde ist schön-parenchymatisch und besteht aus c. 1—3 Schichten isodiametrischer dünnwandiger Zellen. Bei kleinen Schüppchen kann sie auch vollständig fehlen, indem die obersten Gonidien unmittelbar an der Oberfläche liegen. — Die Gonidien sind lebhaft gelb-grün und erfüllen einen grossen Theil des Thallusinnern, nicht selten sogar den ganzen Thallus bis zu dessen Unterseite. — Das Mark ist bald parenchymatisch, bald dünnwandig-fibrös, unterseits etwas dichtfilziger und an den nicht aufgewachsenen Stellen immer geradlinig abgegrenzt. In manchen Fällen kommt eine Art untere Rinde zur Entwicklung, die aus einem dichten, wenn auch nicht gerade interstitienlosen Filzgewebe besteht und hie und da ziemlich scharf vom lockern, luftführenden Marke abgegrenzt erscheint.

Die Befestigung auf der Unterlage wird stellenweise durch einzelne Fasern, welche dieselbe durchdringen und ein schwammiges Geflecht bilden, an andern Stellen durch Faserbündel von bestimmteren Umrissen vermittelt.

Von einer nähern Verwandtschaft dieser Flechte mit Endocarpon oder Pannaria kann mit Rücksicht auf die Merkmale des Thallus nach meinem Dafürhalten nicht die Rede sein. Von beiden unterscheidet sie sich durch den abweichenden anatomischen Habitus, von letzterer überdiess durch die gelb-grüne Farbe der Gonidien. Dagegen stimmt sie mit der vorhergehenden Gattung, Placidium, so auffallend überein, dass ich vom anatomischen Standpunkt aus gegen die Vereinigung mit derselben nichts von Belang einzuwenden wüsste.

Pannaria DELIS.

Die wenigen Arten dieser ausgezeichneten Gattung vermitteln den Uebergang von den sogenannten heteromerischen Flechten zu den homöomerischen. Während die einen (P. plumbea, hypnorum u. a.) in ihren habituellen und anatomischen Merkmalen an die Parmeliaceen erinnern, zeigen die andern (P. rubiginosa, triptophylla) eine ganz entschiedene Verwandtschaft mit den Collemaceen, ohne dass desswegen die Zusammengehörigkeit der ersteren und letzteren zu bezweifeln wäre. Bei P. rubiginosa und triptophylla, zuweilen auch bei P. microphylla, besitzen nämlich die Gonidien gallertartig verdickte Membranen, welche die Zwischenräume des Fasergeflechtes oft vollständig ausfüllen und in manchen Fällen sogar zu einer homogenen Pulpa, in welcher wie bei den Gallertflechten Fasern und grüne Zellen eingebettet liegen, verschmolzen erscheinen. Demzufolge erscheint aldann der gonidienführende Theil des Lagers, welcher durchschnittlich ungefähr $^2/_3$ — $^3/_4$ der ganzen Dicke einnimmt, stellenweise aber auch weiter nach unten vorspringt, als ein gallertartiges, fast durchweg interstitienloses Gewebe, das von dem der typischen Collemaceen nicht wesentlich differirt, und nur der untere kleinere Theil, welcher hie und da beinahe vollständig verdrängt ist, besteht aus einem lockern, lufthaltigen Fasergeflecht, wie man es bei den übrigen heteromerischen Flechten beobachtet. Die Grenze zwischen beiden wird von den Umrissen der gallertartigen Gonidienhüllen gebildet und fällt daher mit dem untern Rande der Gonidienzone zusammen. Es kann indess auch der Fall vorkommen, dass einzelne Gonidienknäuel mit ihren Hüllen vollständig isolirt im lockern Fasergeflecht liegen.

Ob die Bildung der Pulpa — wenn eine solche zur Entwicklung kommt — ausschliesslich von den Gonidien ausgeht, oder ob, wie bei den Collemaceen, auch die Fasermembranen dazu beitragen, konnte ich nicht mit Sicherheit ermitteln. Für die ausschliessliche Betheiligung der Gonidien spricht ausser der Thatsache, dass die Fasern, welche zwischen den grösseren Gonidiencomplexen verlaufen, eine ebenso dicke Membran besitzen, als diejenigen des lockeren Fasergeflechtes, namentlich auch das Verhalten der isolirten Gonidiengruppen, bei denen die Grenze zwischen luftführendem und interstitienlosem Gewebe genau mit den Umrissen der einzelnen grünen Zellen übereinstimmt. Zu Gunsten der gallertartigen Verdickung der Fasermembranen lässt sich dagegen das Vorkommen zahlreicher zarter Verästlungen anführen, welche (wie bei manchen Collemaarten) keine besonderen Membranen besitzen, sondern bloss als Kanäle in einer homogenen Masse erscheinen. Wie dem auch sei, jedenfalls sind es vorzugsweise die Gonidien, welche die Maschen des Markgeflechtes mit einer gallertartigen Pulpa ausfüllen.

Findet eine gallertartige Verdickung der Gonidienmembranen nicht statt, so ist auch der obere Theil der Markschicht lockerfilzig oder merenchymatisch, das Gewebe also durchweg von gleicher Beschaffenheit wie bei den verwandten Gattungen der übrigen laubartigen Flechten.

Die Lichtseite des Thallus ist bei sämmtlichen Arten mit einer schönparenchymatischen Rinde bekleidet, welche bei den einen aus 1 — 3, bei den andern aus 4 — 6 Zellschichten besteht. Das Rindenparenchym ist entweder durchweg dünnwandig, oder es sind bloss die successiven Zellen der nämlichen Faser durch verhältnissmässig dünne Scheidewände voneinander getrennt, die benachbarten Fasern dagegen — ähnlich wie bei Peltigera, Solorina u. a. — durch beträchtlich verdickte. Der oberflächliche Theil der Rinde ist bei älteren Exemplaren gewöhnlich abgestorben und ausgebleicht, und erscheint unter dem Microscop als eine helle, zuweilen beinahe homogene Schicht.

Die Lagerunterfläche ist nicht immer eigentlich berindet, doch ist das Gewebe hier durchgehends dichter geflochten (in manchen Fällen wohl auch interstitienlos) und überdiess häufig durch die braune Färbung der Fasermembranen ausgezeichnet. Der Thallus ist also immerhin auch unterseits deutlich abgegrenzt. Einzelne Fasern, welche über diese Grenze hinauswachsen, bilden den Hypothallus.

Besonders interessant ist das Verhalten der Gonidien. Wenn man nämlich grössere Gruppen derselben, wie sie z. B. in den Soredien von P. rubiginosa

v. coeruleo-badia oder in der Gonimonschicht von P. spec. (Taf. XI Fig. 3, 4) vorkommen, in Kali kocht und mit dem Deckgläschen vorsichtig zerreibt, so lösen sie sich nicht selten in vielgliedrige Ketten auf, welche von Gallerthüllen von c. 4—5 Mik. Dicke und 12—14 Mik. im Durchmesser umschlossen sind. Behandelt man dieselben mit Salpetersäure in geeigneter Concentration, so löst sich die Gallerte vollständig auf, während die etwas contrahirten, schnurförmig gereihten Inhaltsportionen unversehrt bleiben (Fig. 6). — Auch bei den übrigen Arten dieser Gattung, welche eine so auffallende Kettenbildung nicht zeigen, beobachtet man zuweilen einzelne schnurförmig gereihte Gonidien, sowie grössere Gruppen, die aus verschlungenen Gonidienketten gebildet zu sein scheinen. Es sind diess alles Thatsachen, welche auf eine nähere Verwandtschaft mit den Collemaceen hindeuten.

Trotz alledem stellt sich bei genauerer Untersuchung heraus, dass die Theilung der Gonidien in derselben Weise stattfindet, wie bei den vorhergehenden Gattungen mit blau-grünen Gonidien, im Allgemeinen also nach dem nämlichen Gesetz, wie bei der grossen Mehrzahl der Flechten überhaupt. Das Eigenthümliche bei dem Vorgange besteht nur darin, dass auf jede Theilung eine selbstständige Ausdehnung der Tochterzellen erfolgt, die Scheidewände also weniger rasch nacheinander auftreten, so dass die Kugelgestalt der Gruppe sehr bald verloren geht. Dazu kommt dann noch die gallertartige Verdickung der Membranen, wobei sich diese in zwei dichtere Lamellen spalten, die durch eine wasserreichere geschieden sind, was offenbar den Zusammenhang zwischen benachbarten Zellen vermindert. Diese Umstände zusammengenommen machen es begreiflich, dass die Theilzellen der letzten Generation einer trennenden Kraft nach verschiedenen Richtungen ungleichen Widerstand leisten, und wenn auch eine Auflösung grösserer Gruppen in vielgliedrige Ketten damit nicht befriedigend erklärt ist, so ist wohl zu erwägen, dass diese Erscheinung nur unter sehr günstigen Umständen eintritt, indem in der Mehrzahl der Fälle bloss die Bildung doppelter und dreifacher Reihen gelingt *.

Wenn die Gonidienhüllen eine homogene Pulpa bilden, so kommen nicht selten Copulationen zwischen den Verästlungen der Fasern und einzelnen grünen

---

(*) Als ich im März 1858 zum ersten Mal kleine Thallusschüppchen von P. spec. untersuchte, ohne die Pflanze zu kennen, gelang es mir, Ketten von über 100 Gliedern vollständig zu isoliren. Es schien mir damals unzweifelhaft, dass die Vermehrung der Gonidien wie bei Collema durch wiederholte Theilung in der nämlichen Richtung stattfinde, dass somit die rundlichen Gruppen derselben als zu Knäueln verschlungene Ketten zu betrachten seien. Später, nachdem ich mehrere andere Arten dieser Gattung untersucht und namentlich die Vermehrung der Gonidien genauer verfolgt hatte, zog ich die interessante Flechte, die ich nachgerade als Pannaria erkannte, noch einmal hervor, um das Experiment zu wiederholen; allein die längsten Ketten, die ich diessmal erhielt, zählten nicht über 10 – 20 Glieder, und auch diese waren stellenweise doppelt oder bildeten einen spitzwinkligen Zickzack, wie ich es wiederholt bei P. rubiginosa beobachtet hatte. Ich überzeugte mich übrigens, dass meine frühere Ansicht über die Theilung der Gonidien eine irrthümliche war.

Zellen vor — eine Erscheinung, welche an zwei Gattungen der Collemaceen (Lempholemma und Arnoldia) erinnert. Der sich copulirende Ast sitzt jedoch nicht, wie bei diesen letztern, mit erweiterter Scheitelzelle auf; er zeigt überhaupt nie eine constante, characteristische Form des Stieles, sondern ist bald in dieser, bald in jener Weise mit der Aussenfläche der Zelle verwachsen. Die copulirten Gonidien stimmen dagegen insoweit mit den Copulationszellen der erwähnten Gattungen überein, als sie zuweilen ebenfalls eine beträchtliche Grösse erreichen und deutliche Membranen besitzen. Ich wage jedoch nicht zu behaupten, dass jede Copulation eine solche Veränderung veranlasse, sondern halte das vielmehr für unwahrscheinlich, indem man allzu häufig Gonidien beobachtet, die mit Faserästen in Verbindung stehen, ohne desswegen von den benachbarten verschieden zu sein.

Ueber die Wachsthumsverhältnisse des Lagers lässt sich bei der Kleinheit des Thallus und der Unregelmässigkeit des Fasergeflechtes, wozu nicht selten noch das parenchymatische Aussehen des Gewebes kommt, nicht viel sagen. Nur bei P. plumbea tritt der Faserverlauf nicht bloss in der Nähe des Randes, sondern auch im ältern Thallus stets deutlich hervor. Im untern Theile desselben verlaufen die Fasern in vorherrschend radialer Richtung, also parallel der Oberfläche; zwischen den Gonidiengruppen steigen sie bogenförmig nach oben, so dass sie die obere Seite annähernd rechtwinklig treffen. Ihr Verhalten in der Krümmung des Randes ist auf Taf. XI Fig. 1 dargestellt.

Das intercalare Wachsthum des Lagers hört allem Anschein nach sehr frühzeitig auf; jedenfalls ist es in grösserer Entfernung vom Rande nur unbedeutend, da die Zellen der radial verlaufenden Fasern später keine merkliche Streckung mehr erleiden und eine Theilung durch Querwände nicht anzunehmen ist.

Die Fasern des Hypothallus erscheinen zunächst dem Rande als kleine Ausstülpungen, deren Entwicklung mit zunehmender Entfernung von demselben sich leicht verfolgen lässt (Fig. 1).

Anmerkung. Auf die hervorragendsten anatomischen Eigenthümlichkeiten dieser Gattung: „eine zellige Rindenschicht und kleine bläulich- oder lauch-grüne, bisweilen schnurförmig gereihte oder in Faserzellen auswachsende Gonidien“ hat bereits Körber (Syst. pag. 105) aufmerksam gemacht. Die letztere Angabe, dass die Gonidien in Faserzellen auswachsen, ist indess nicht richtig (vgl. die Bemerkungen bei den Collemaceen).

Pannaria plumbea Lightf. (Taf. XI Fig. 1, 2). Obere Rinde schön-parenchymatisch, aus 4 — 6 Schichten dünnwandiger Zellen bestehend, in der Nähe des Randes kleinzelliger oder fibrös. Gonidiengruppen von gemeinsamen, jedoch nur schwach verdickten Membranen umschlossen, bald dicht gedrängt und eine zusammenhängende grüne Zone bildend, bald spärlich im Markgewebe zerstreut. Mark lockerfilzig und lufthaltig, aus dünnwandigen bogenförmig nach vorn und oben verlaufenden Fasern bestehend, unterseits stets deutlich abgegrenzt und stellenweise in ein förmliches Rindengewebe mit mässig verdickten Wandungen übergehend.

P. rubiginosa Thunb. Rinde dünnwandig-parenchymatisch, aus c. 3 — 4 Zellschichten bestehend. Im Uebrigen wie die vorhergehende Art. — Die var.

coeruleo-badia Mass. (Hepp Eur. 607) zeichnet sich durch das Vorkommen von Soredien aus, welche fast ausschliesslich aus grössern und kleineren Gonidiengruppen mit gallertartigen Hüllen bestehen.

P. triptophylla Ach. Obere Rinde parenchymatisch, aus 1—3 Schichten ziemlich dickwandiger Zellen bestehend. Im Uebrigen wie die vorhergehende Art.

P. microphylla Sw. Obere Rinde parenchymatisch, von sehr verschiedener Dicke und Ausbildung. Gonidien bald in spärlichen, bald in zahlreichen Gruppen auf die ganze Dicke des Thallus vertheilt. — Kleinere Schüppchen sind gewöhnlich durch und durch parenchymatisch, mit zerstreuten Gonidien; grössere dagegen fibrös und im Wesentlichen mit der vorhergehenden Art übereinstimmend.

P. Hookeri Sm. (Schaer. Enum. 54). Obere Rinde schön-parenchymatisch, aus 4—5 Zellschichten bestehend, an Thallusschüppchen, die von andern bedeckt sind, jedoch sehr häufig nicht entwickelt. Gonidienzone breit, selten weniger als $^2/_3$ der Thallusdicke einnehmend; Gonidien häufig entfärbt, jedoch ursprünglich entschieden blau-grün. Markgewebe nach unten durch ein dichteres Fasergeflecht mit braunen Zellwandungen abgegrenzt.

P. pannosa Ach. Eine typische Pannaria. Obere Rinde 40 — 60 Mik. dick, gelblich, dickwandig-parenchymatisch, aus 4 — 6 Zellschichten bestehend, die peripherischen Zellen kleiner, die innern grössern Zellen in senkrechter Richtung länglich; im anatomischen Habitus fast wie bei Solorina. Gonidienzone c. 28—32 Mik. breit, mit kleinen, lebhaft blau-grünen Zellen. Mark ziemlich dichtfilzig, mit mässig verdickten Zellwandungen, nach unten scharf abgegrenzt und rindenartig. Ohne eigentliche untere Rinde. Hypothallus stark entwickelt, bläulich dintenschwärzlich. Thallusdicke beispielsweise 120 Mik.

P. aurantiaca (Coccocarpia aurantiaca Montagne, dein C. smaragdina Mont. et Pers., Parm. membranacea Schaer. Manusc., Zoll. Cat. 126). Ebenfalls eine typische Pannaria. Obere Rinde dünnwandig-parenchymatisch, aus 2 — 3 Zellschichten bestehend, die Zellen parallel der Oberfläche verlängert und Reihen bildend. Untere Rinde (wie bei P. plumbea) parallelfaserig, dünnwandig. Hypothallusfasern farblos (nur wenn viele übereinander liegen bläulich). — In der Marginalregion verlaufen die Zellreihen parallel mit der Krümmung des Randes, biegen also von einer Lagerfläche zur andern um.

P. incisa (Coccocarpia incisa Pers. Java leg. Junghuhn). Verhält sich ebenso. Hypothallusfasern mit etwas stärker verdickten Wandungen.

Lenormandia Jungermanniae Delis.[*] (Leight. Lich. Brit. exs. Nr. 25).

(*) Unter diesem Namen erhielt ich von Herrn Dr. Hepp Exemplare mit folgenden genauern Angaben:

1. Zürich leg. Hepp. Exs. Nr. 476.
2. Species Nylander. Exs. Nr. 89.
3. Heidelberg leg. Zwackh.
4. Spec. Leighton. Exs. Nr. 25.

Von diesen 4 Exemplaren gehört nur das letzte hieher; die übrigen verhalten sich wesentlich verschieden, stimmen aber unter sich überein (s. Lenormandia).

Eine typische Pannaria. Obere Rinde dünnwandig-parenchymatisch, aus c. 2—4 Zellschichten bestehend. Gonidienzone breit, im Durchschnitt maschig (Gonidien des untersuchten Exemplars entfärbt, schmutzig-gelblich). Mark und untere Rinde aus dünnwandigen, zunächst der Lagerunterfläche dicht verflochtenen Fasern gebildet. Hypothallusfasern 4 — 6 Mik. dick, mit mässig verdickten Wandungen, einzeln farblos. Thallusdicke 80—100, an einem andern Lappen 140—160 Mik. — Dickere Lappen stimmen auffallend mit P. plumbea und rubiginosa überein (vergl. Fig. 1, 2).

P. Schaereri Mass. Ric. p. 114 (Biatora Schaereri Hepp Eur. 496, sed non Lecothecium corallinoides β fuscum (Hepp) Kbr. Syst. p. 398). Ich halte diese Flechte für eine Pannaria, verwandt mit P. microphylla. Das untersuchte Exemplar bestand aus kleinen, zum Theil in Zersetzung begriffenen Schüppchen, die in ein Pilzgeflecht eingebettet waren. Die Gonidien waren sämmtlich entfärbt, übrigens wie gewöhnlich gruppirt und von parenchymatischem Gewebe umschlossen.

P. hypnorum Wahlb. (Ex Herb. Laur. comm. Hepp). Obere Rinde 28—40 Mik. dick, dünnwandig-parenchymatisch, aus 2 — 3 oder auch mehr Zellschichten bestehend, die peripherischen Zellen kleiner (Taf. XI Fig. 7) Gonidien gelb-grün, grösser als bei den übrigen Arten, jedoch mit den gelb-grünen Gonidien anderer Flechten nicht ganz übereinstimmend. Markfasern dünnwandig, an der Lagerunterfläche dichter geflochten, zuweilen eine schön-parenchymatische untere Rinde bildend.

P. spec. (Taf. XI, Fig. 3—6; vielleicht P. rubiginosa?). Diese Flechte, die mir bei der Untersuchung von Biatora carnosa Schaer., mit der sie auf der nämlichen Unterlage sich befand, zufällig in die Hände kam, ist jedenfalls einer der schönsten und instructivsten Repräsentanten dieses Typus. Bei keiner andern der untersuchten Arten war die Gonimonschicht in so hohem Grade gelatinös und die kettenförmige Anordnung der Gonidien so täuschend, wie bei dieser. Die anatomischen Verhältnisse sind durch die Zeichnungen hinreichend characterisirt.

(Schluss folgt.)

Erklärung der Tafeln.

Bei der Reproduction der Originalzeichnungen durch Farbendruck war es natürlicher Weise nicht möglich, alle in der Natur vorkommenden oder durch Reagentien hervorgerufenen Nüancen getreu wiederzugeben. Die Farbe der blau-grünen Gonidien ist z. B in den Figuren der nämlichen Tafel dieselbe, obschon sie in der Natur die mannigfachsten Abstufungen zeigt. Ebenso wurde die braun-gelbe Färbung der peripherischen Rindenzellen, sowie des mit Jod behandelten Zellinhalts, durchweg in gleichem Tone gehalten.

Die Vergrösserung wurde der Nummer der Figur in ( ) beigesetzt.

Taf. VIII.

Fig. 1 — 2. Parmelia propinqua.

1 (505) Durchschnitt durch den Thallus. Die dunkeln Flecken im Marke stellen die in demselben enthaltenen Luftblasen dar. In den Zellhöhlungen der untern Rinde beobachtet man kleine Protoplasmakügelchen.

2 (100) Radialschnitt durch den Thallus, unterseits mit 4 Haftfasern Die Markfasern verlaufen vorherrschend in der Richtung des Schnittes und biegen nach oben gegen die Rinde aus. Letztere besteht aus vorherrschend rechtwinklig zur Oberfläche verlaufenden Zellreihen.

Fig. 3 — 4. Imbricaria centrifuga.

3 (70) Radialschnitt durch den Thallus. Zeigt die relative Dicke der Rinde und die vorherrschende Richtung der Markfasern. Der Schnitt geht durch die Basis einer Haftfaser.

4 (500) Durchschnitt durch die obere Rinde und einen kleinen Theil der Gonimonschicht

Fig. 5. Imbricaria physodes.

5 (515) Flächenansicht der untern Rinde. Zeigt die Verästlung der Fasern parallel der Oberfläche.

Fig. 6. Imbricaria fahlunensis.

6 (250) Durchschnitt durch die obere Rinde und einen Theil der Gonimonschicht. Die Lumina der Rindenzellen (in der Zeichnung dunkel gehalten) sind beträchtlich erweitert, so dass das Gewebe ein parenchymatisches Aussehen erhält.

Fig. 7. Placodium cartilagineum.

7 (200) Radialschnitt durch den Thallusrand, in Kalilösung erhitzt. Zeigt den vorherrschend orthogonal-trajectorischen Faserverlauf und die Vertheilung der Gonidien.

Fig. 8. Placodium diffractum.

8 (180) Radialschnitt durch den Thallusrand, in Kalilösung erhitzt. Der Faserverlauf ist hier zu beiden Seiten der Mittellinie unsymmetrisch, die untere Rinde nicht so schön ausgebildet als in Fig. 7. Lagerunterseite mit Hypothallus.

Fig. 9. Placodium frustulosum.

9 (515) Durchschnitt durch den peripherischen Theil der untern Rinde, nach Zusatz von Jodtinctur. Die Fasern sind in der Nähe der Oberfläche stärker verästelt als tiefer im Innern, die Zellhöhlungen daher dichter gedrängt.

Fig. 10 — 12. Physcia parietina.

10 (500) Durchschnitt durch den jungen Thallus.

11 (500) Ein Gonidium, das sich in viele Tochterzellen getheilt hat.

12 (500) Zwei Soredien mit parenchymatischer Hülle; a ein kleines, b ein grösseres mit einer Haftfaser.

13 (500) Durchschnitt durch ein zum Thallus gewordenes Soredium, mit einer Haftfaser.

Fig. 14. Anaptychia aquila.

14 (40) Querschnitt durch einen Thalluslappen, links mit einer Haftfaser.

Fig. 15 — 17. Umbilicaria pustulata.

15 (70) Radialschnitt durch den Thallus. Auf der rechten Seite geht der Schnitt durch eine jener blasigen Auftreibungen, wo das Gewebe unterseits eine abweichende Physiognomie zeigt. Aus dem Verlauf der Markfasern, welche man nach unten in die Rinde ausbiegen sieht, lässt sich mit Sicherheit folgern, dass die linke Seite des Schnittes dem Centrum, die rechte dem Rande des Thallus zugekehrt ist.

16 (500) Stück der untern Rinde, mit senkrecht gegen die Oberfläche verlaufenden Zellreihen.

17 (200) Radialschnitt durch den centralen Theil des Thallus, in Kali erhitzt, ausgewaschen und mit Jod in Jodkalium versetzt. Zeigt in der ganzen Dicke der obern Rinde

abgestorbene Gonidien (in der Zeichnung schraffirt, in Wirklichkeit blau oder blau-violett).

Taf. IX.

Fig. 1. **Heppia urceolata.**

1 (515) Durchschnitt durch den obern Theil des Thallus. Die oberflächlichen Zellen sind abgestorben und platt gedrückt, die Gonidien einzeln oder in kleineren Gruppen im Gewebe zerstreut.

Fig. 2. **Sticta sylvatica.**

2 (515) Durchschnitt durch die beiden Rindenschichten und das angrenzende Gewebe des Thallusinnern. Die Gonidien bilden Gruppen, die von der Membran der Mutterzelle umschlossen sind. Lagerunterseite mit jungen Filzfasern.

Fig. 3. **Sticta filicina.**

3 (500) Durchschnitt durch die obere und untere Rinde und einen Theil der Markschicht. Gonidien in Gruppen wie in Fig. 2. Lagerunterseite mit Filzfasern.

Fig. 4. **Sticta macrophylla.**

4 (185) Durchschnitt durch den Thallus, unterseits mit einer jungen Cyphelle.

5 (500) Markfaser mit anhängenden kleinen Körperchen.

Fig. 6. **Sticta aurata.**

6 (60) Durchschnitt durch den Thallus, unterseits mit einer Cyphelle.

Fig. 7. **Sticta dichotoma.**

7 (60) Durchschnitt durch den Thallus, unterseits mit einer Cyphelle.

Fig. 8. **Nephroma tomentosum.**

8 (500) Durchschnitt durch den Thallus. Lagerunterseite mit Filzfasern.

Fig. 9. **Peltigera horizontalis.**

9 (400) Durchschnitt durch die Rinde und einen Theil der Gonimonschicht.

9^b(500) Zwei Markfasern, wovon die untere verzweigt.

Fig. 10—14. **Solorina crocea.**

10 (500) Durchschnitt durch die Rinde und die Gonimonschicht. Die unteren Gonidien gehören zu einem in's Mark vorspringenden Gonidiennest.

11 (60) Durchschnitt durch den Thallusrand, unter der eigentlichen Gonimonschicht mit 3 Gonidiennestern

12 (500) Ein in 4 Zellen getheiltes Gonidium in zwei verschiedenen Ansichten.

13 (500) Querschnitt durch die Verzweigungsstelle einer Markfaser. Die an der Oberfläche adhärirenden Körperchen sind in der Natur röthlich und bedingen die bekannte Färbung der Lagerunterfläche.

Taf. X.

Fig. 1—4. **Endocarpon miniatum.**

1 (515) Durchschnitt durch die beiden Rindenschichten und das angrenzende Gewebe des Thallusinnern. 1^a obere Rinde, 1^b untere Rinde.

2 (c. 600) Peripherischer Theil der obern Rinde: drei nebeneinander liegende Rindenfasern, die sich in der Nähe der Oberfläche verzweigen.

3 (500) Ein in 4 Zellen getheiltes Gonidium in zwei verschiedenen Ansichten. Die Scheidewände kreuzen sich rechtwinklig.

4 (500) Eine ähnliche Gruppe mit tetraedrisch gestellten Tochterzellen in zwei verschiedenen Ansichten.

Fig. 5—6. **Catopyrenium cinereum.**

5 (200) Durchschnitt durch den Thallus. Lagerunterseite mit Hypothallus.

6 (150) Radialschnitt durch den Thallusrand. Die Fasern verlaufen parallel mit der Krümmung des Randes nach vorn und oben. An der Unterseite beobachtet man junge Hypothallusfasern.

Fig. 7. **Endocarpon Guepini.**

7 (120) Radialschnitt durch den Thallusrand. Die Gonidien sind hier ausnahmsweise blaugrün und liegen vorn und oben unmittelbar an der Oberfläche. Dagegen ist die untere Rinde sehr schön ausgebildet und stets deutlich vom Marke abgegrenzt.

Fig. 8. **Endopyrenium pusillum.**

8 (515) Durchschnitt durch den obern und untern Theil des Thallus. 8^{a} Obere Rinde und ein kleiner Theil der Gonimonschicht. 8^{b} Untere Rinde und angrenzendes parenchymatisches Markgewebe.

Fig. 9. **Endocarpon fluviatile.**

9 (180) Radialschnitt durch den Thallusrand, in Kali erhitzt. Faserverlauf ausgeprägt orthogonal-trajectorisch.

Fig. 10—11. **Gyrophora cylindrica.**

10 (200) Durchschnitt durch den Thallus.

11 (500) Zwei Markfasern mit langgestreckten Zellen, nach Zusatz von Jodtinctur.

F. 12. **Gyrophora hyperborea.**

12 (100) Durchschnitt durch den Thallus, mit zwei Gonidien führenden Höckern.

Fig. 13. **Gyrophora vellea.**

13 (50) Radialschnitt durch den mittleren Theil des Thallus. Die hell gehaltene untere Hälfte ist dichtfilziges, interstitienloses Gewebe mit vorherrschend radialem Faserverlauf.

Taf. XI.

Fig. 1 — 2. **Pannaria plumbea.**

1 (100) Radialschnitt durch den Thallusrand. Lagerunterseite mit jungen Hypothallusfasern

2 (300) Radialschnitt durch den Thallus. Die Gonidiengruppen sind häufig viel dichter gedrängt, als es hier dargestellt ist; auch erscheint das Gewebe im untern Theil des Thallus keineswegs immer so regelmässig und interstitienlos.

Fig. 3—6. **Pannaria spec.**

3 (100) Durchschnitt durch den Thallusrand. Gonidien in Gruppen mit gallertartigen Hüllen. Oberflächlicher Theil der obern Rinde abgestorben und ausgebleicht Lagerunterseite mit Hypothallus

4 (500) Durchschnitt durch den obern Theil des Thallus. Gonidien hie und da scheinbar in Ketten.

5 (500) Schnurförmig gereihte Gonidien mit gemeinsamer Hülle, erhalten durch Zerreiben des Präparates nach vorhergegangenem Erhitzen in Kali und Zusatz von Salpetersäure.

6 (500) Schnurförmig gereihte Gonidien, deren gemeinschaftliche Hülle durch Salpetersäure aufgelöst wurde Mit Jod gefärbt und durch Auswaschen wieder entfärbt. An den Enden der Kette beobachtet man je eine Zelle mit doppelt conturirter Membran; beide standen ursprünglich mit Faserästen in Verbindung.

Fig. 7 — 8. **Pannaria hypnorum.**

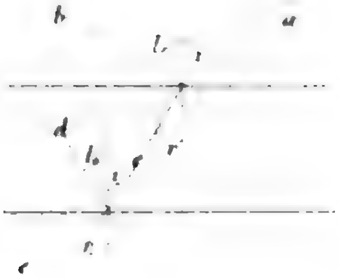
7 (400) Durchschnitt durch die obere Rinde und die Gonimonschicht Die Gonidien sind hier ausnahmsweise gelb-grün und wurden in der Zeichnung so dargestellt, wie sie nach schwacher Einwirkung von Jodlösung erscheinen. Der peripherische, ausgebleichte Theil der Rinde besteht aus abgestorbenen, plattgedrückten Zellen.

8 (500) Ein in vier Zellen getheiltes Gonidium in zwei verschiedenen Lagen.

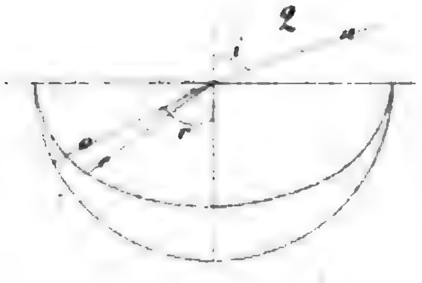
Fig. 9. **Pannaria rubiginosa v. coeruleo-badia.**

9 (500) Gonidiengruppen mit gemeinsamen Hüllen. Aus solchen Gruppen, in denen die Theilung offenbar wie in Fig. 8 vor sich geht, erhält man zuweilen durch wiederholten Druck ähnliche Ketten, wie die in Fig. 5 und 6 abgebildeten.

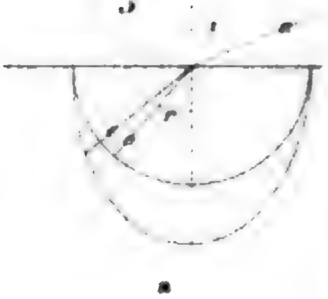
1



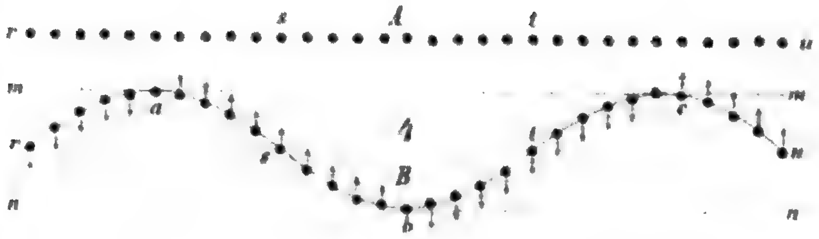
2



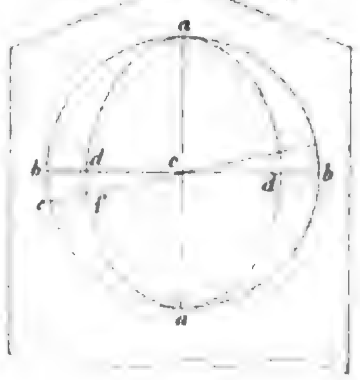
3



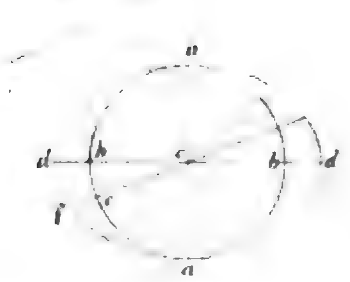
4


r
s
A
t
u
m
a
r
B
n

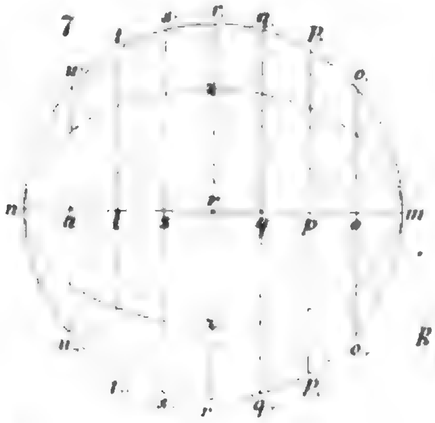
5



6

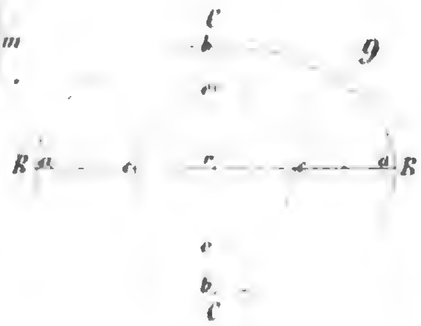


7



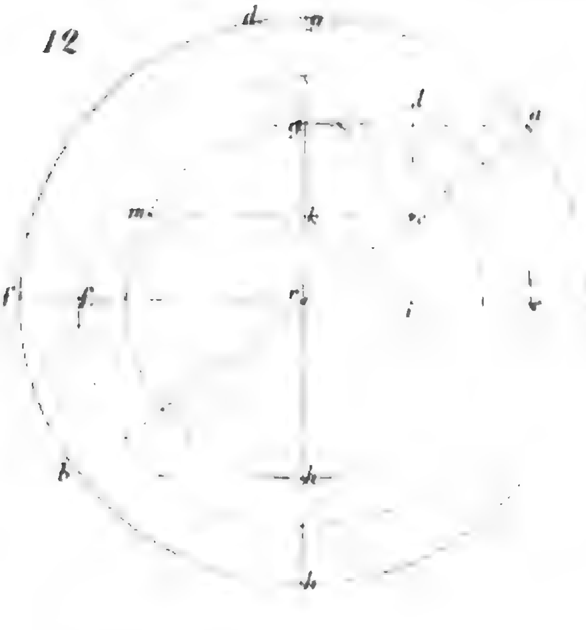
8

9

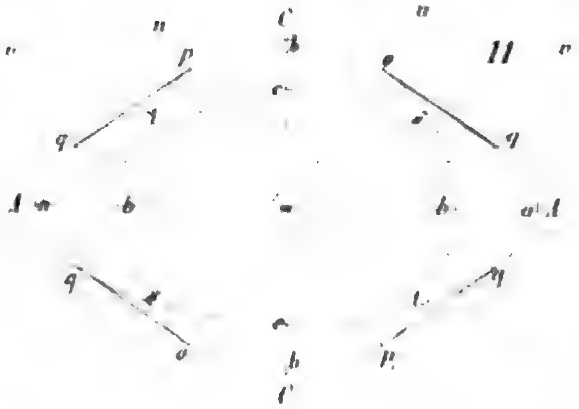


10

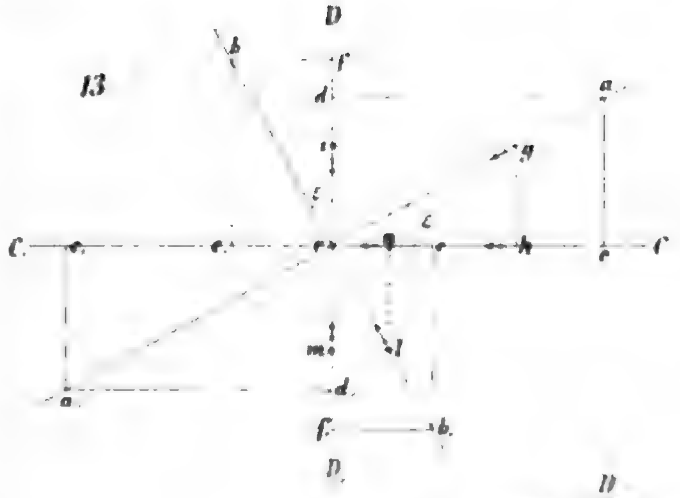
12



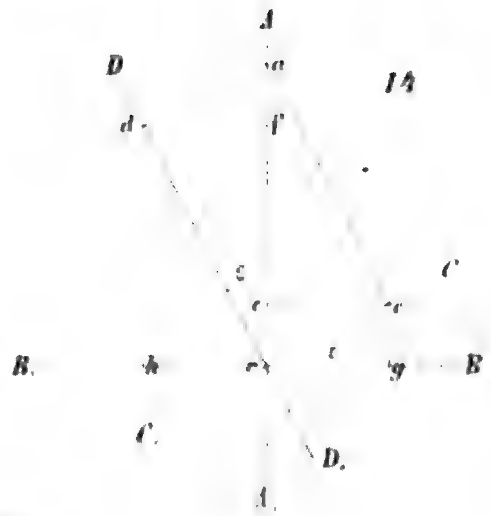
11


n
C
p
q
A
b
a
A
q
o
p
b
C

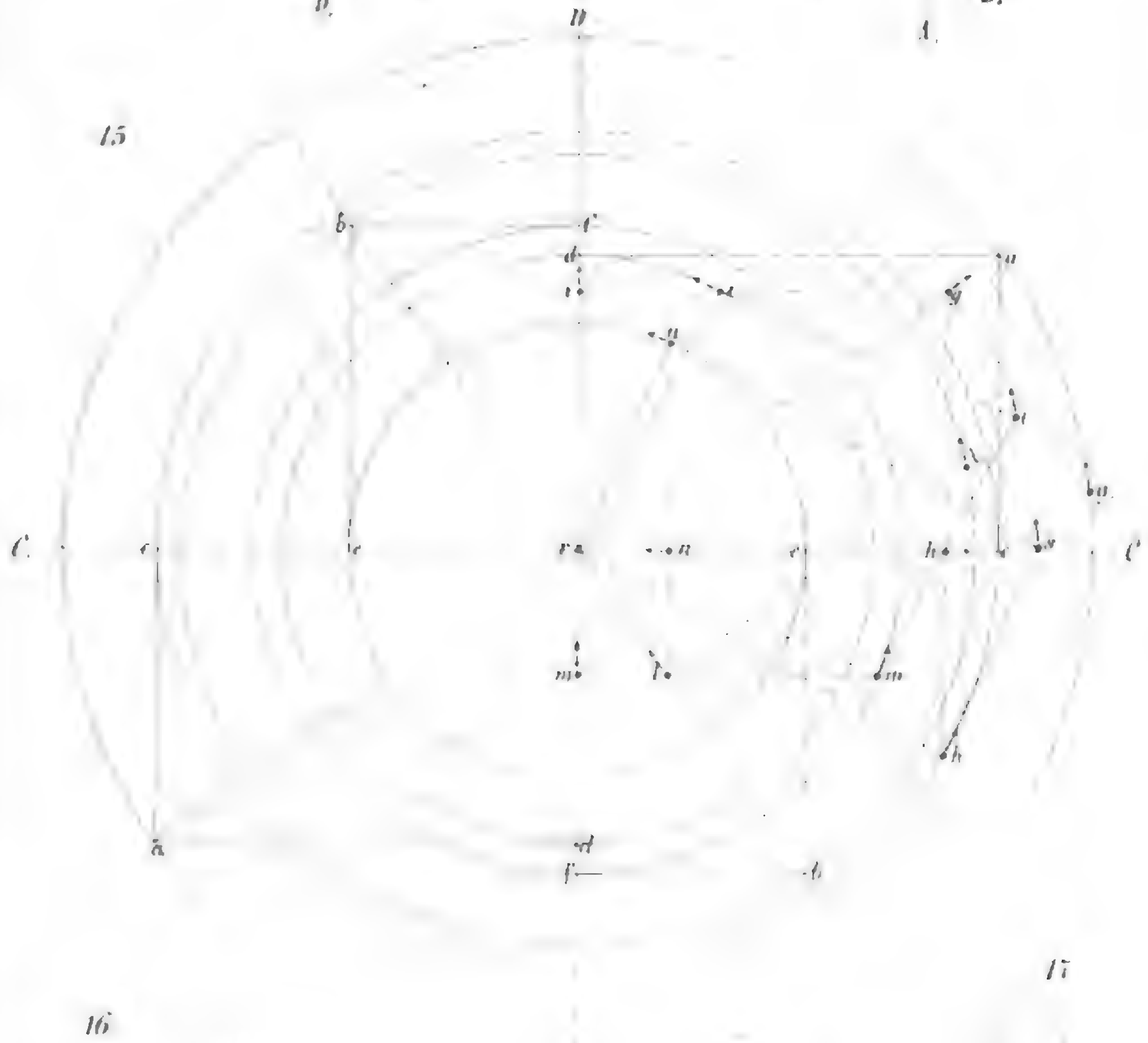
13


D
b
f
d
a
g
C
e
h
C
m
l
a
d
f
b
D

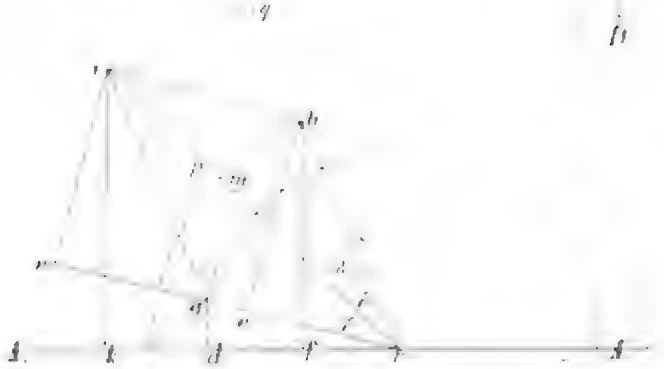
14


A
a
D
d
f
C
B
h
g
B
C
D
A

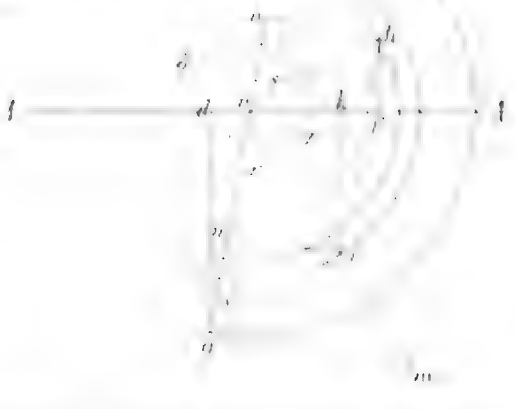
15


D
b
f
d
a
g
C
e
h
C
m
a
d
f
b

16

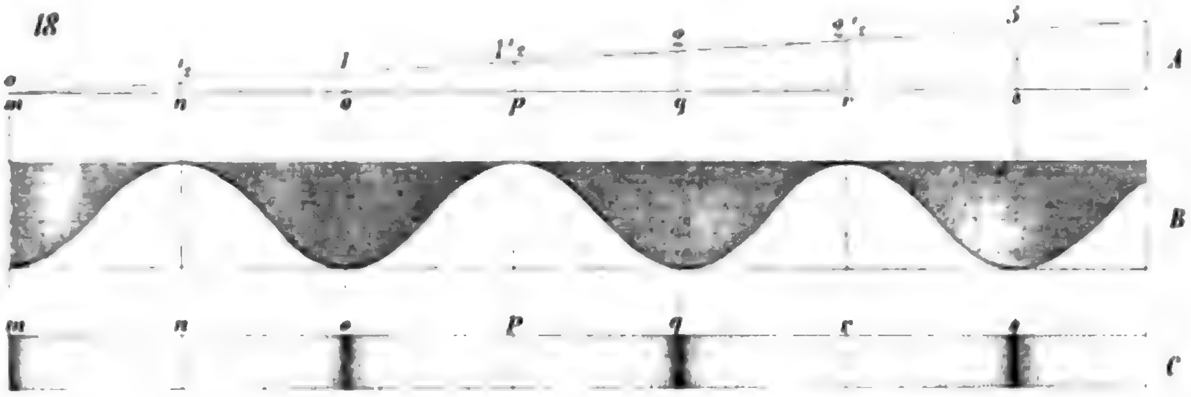

q
A
d
f
A

17

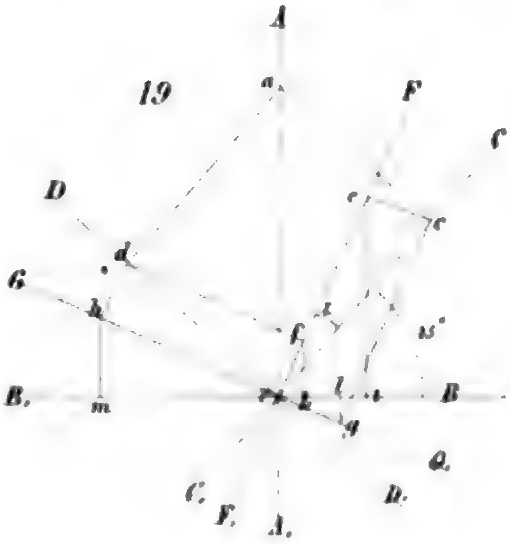

A
d
h
A

III.

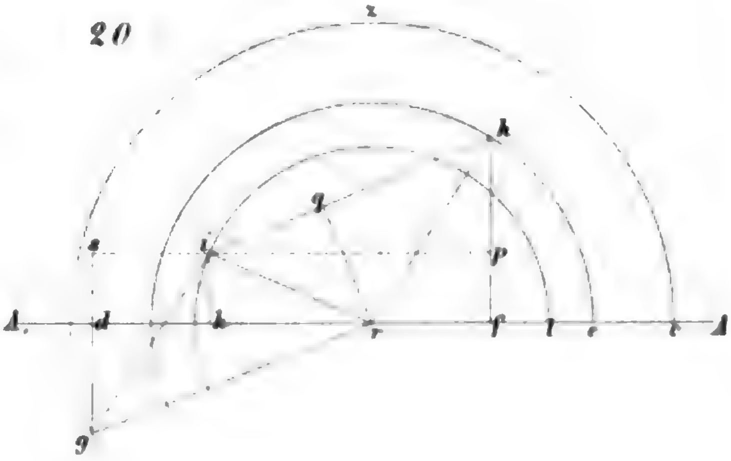
18


o
½
1
1½
2
2½
3
m
n
o
p
q
r
s
A
B
m
n
o
p
q
r
s
C

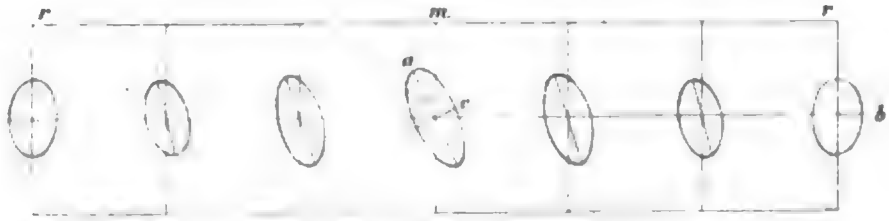
19


A
a
F
C
D
d
c
c
G
h
f
s
w
B.
m
r
k
l
i
B
g
Q
C.
F.
A.
D.

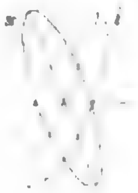
20


z
h
q
s
i
p
A.
d
k
r
f
l
e
c
A
g

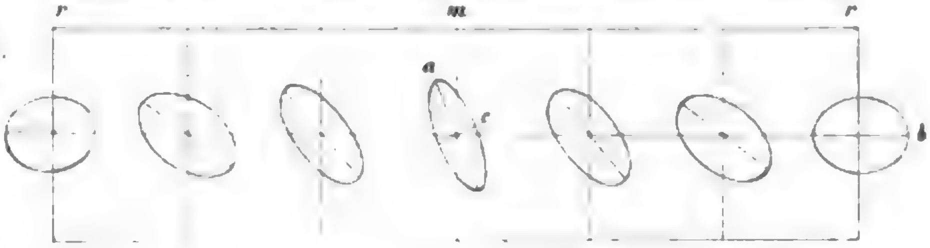
21.



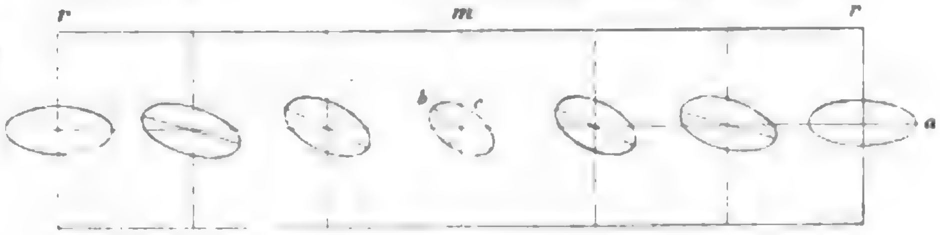
21 B



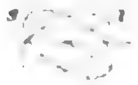
22.



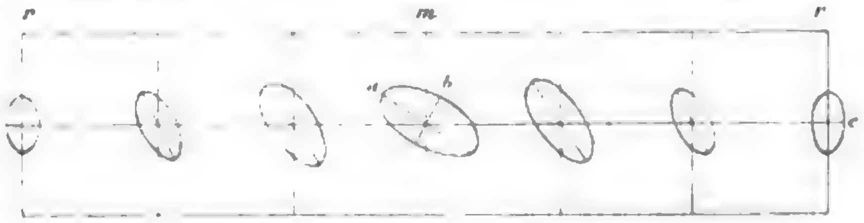
23



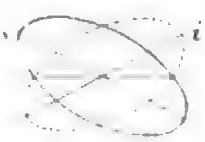
23 B



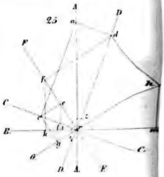
24.



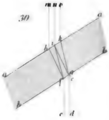
24 B



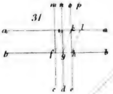
25

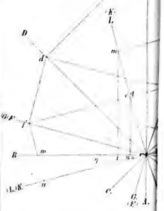

A
D
a
d
F
f
h
C
e
B
k
i
s
r
z
m
g
G
D
A
E
C

30

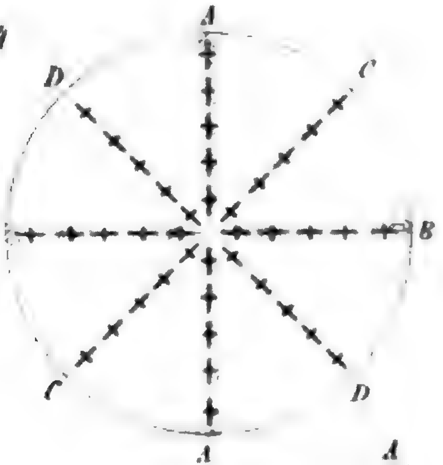

m n o
a
h i k
b
a
f
e
b
c d

31

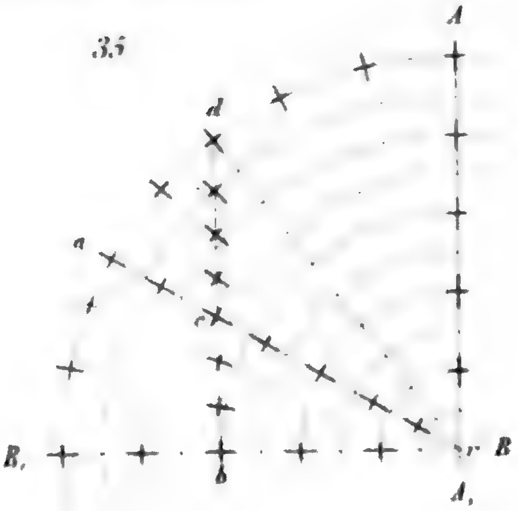

m n o p
a
i
k l
a
b
f g h
b
c d e


(K)
L
D
d
m
c d
(I) F
f
B
m
q
i
u s
r
(L)K
n
C
G
(F)
A

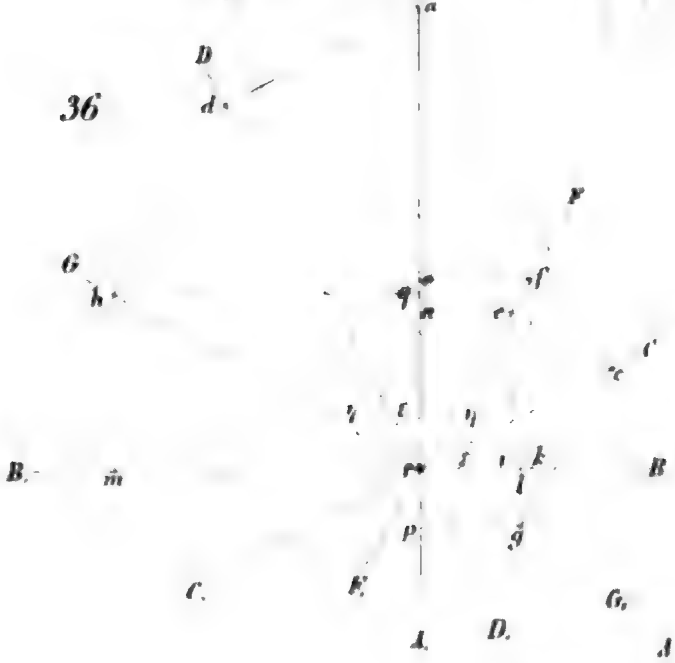
34


A
D
C
B
B
C
D
A

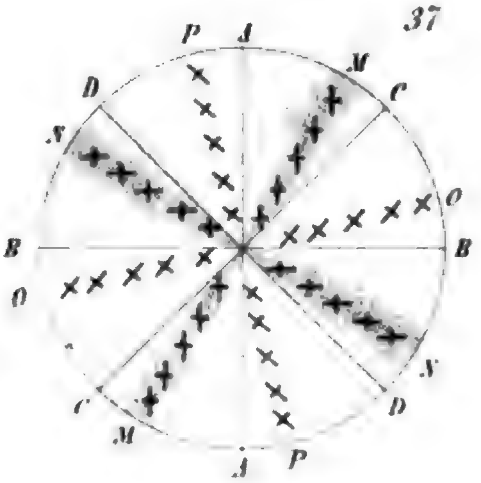
35


A
d
a
c
B,
b
r
B
A,

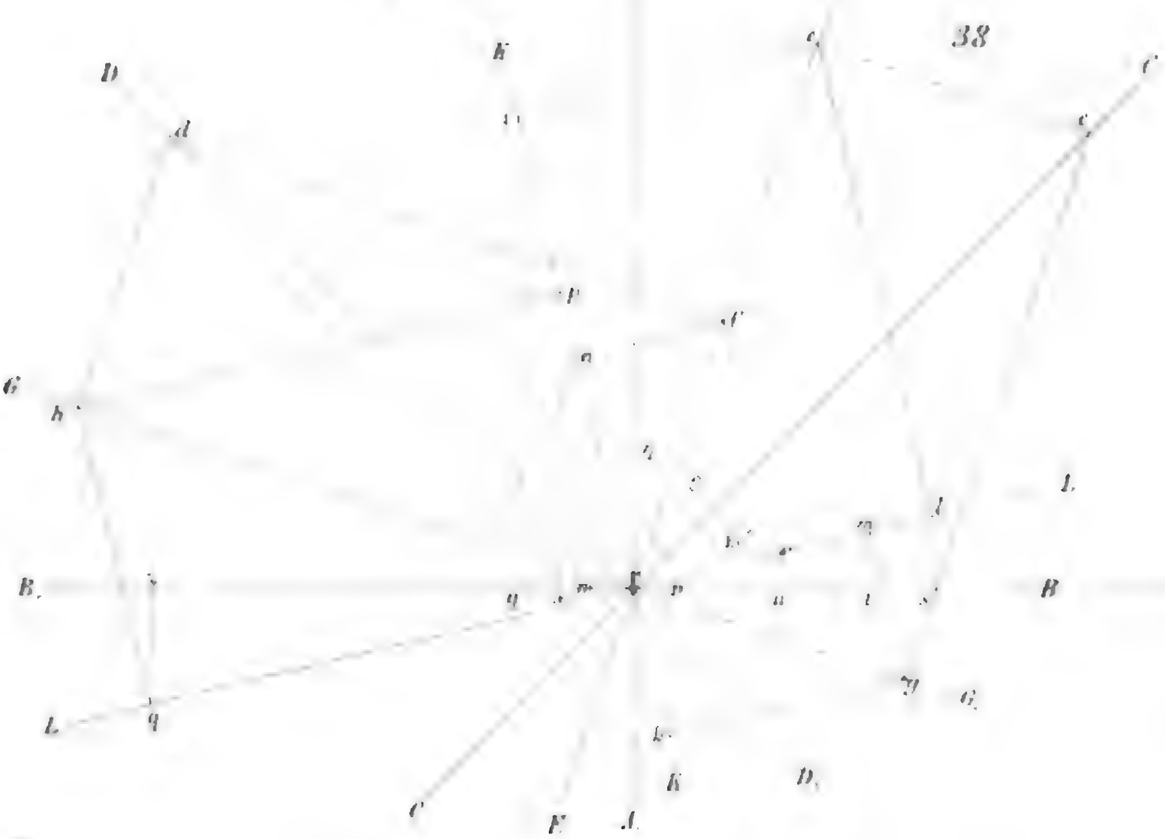
36

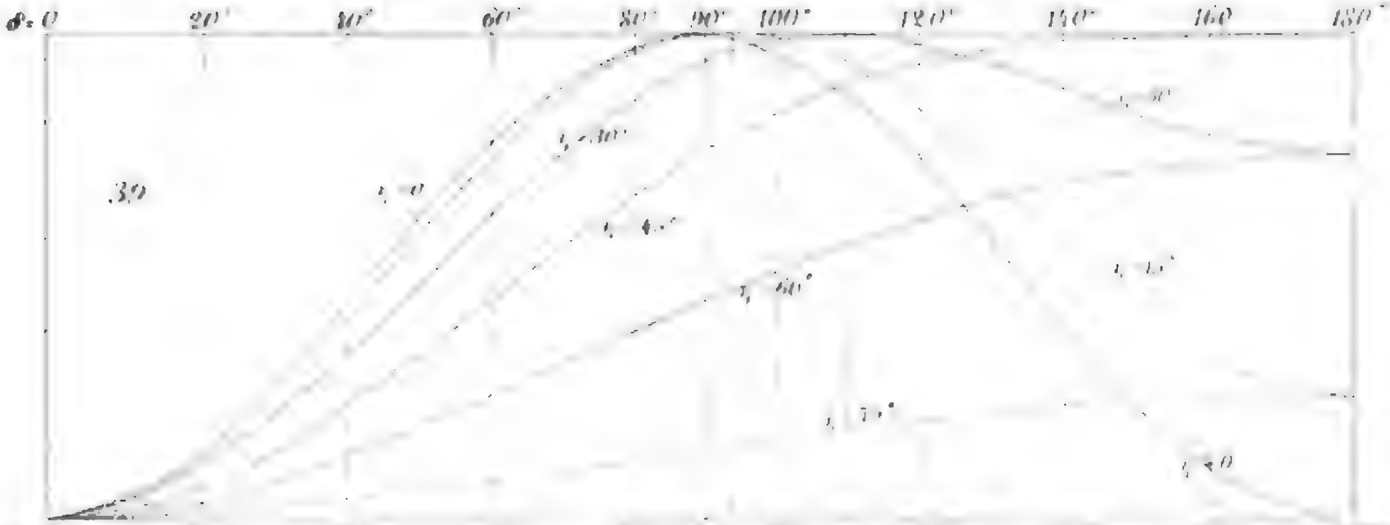

A
a
D
d
F
G
h
q
n
f
e
c
B,
m
l
k
B
p
g
C,
E
A.
D.
G,

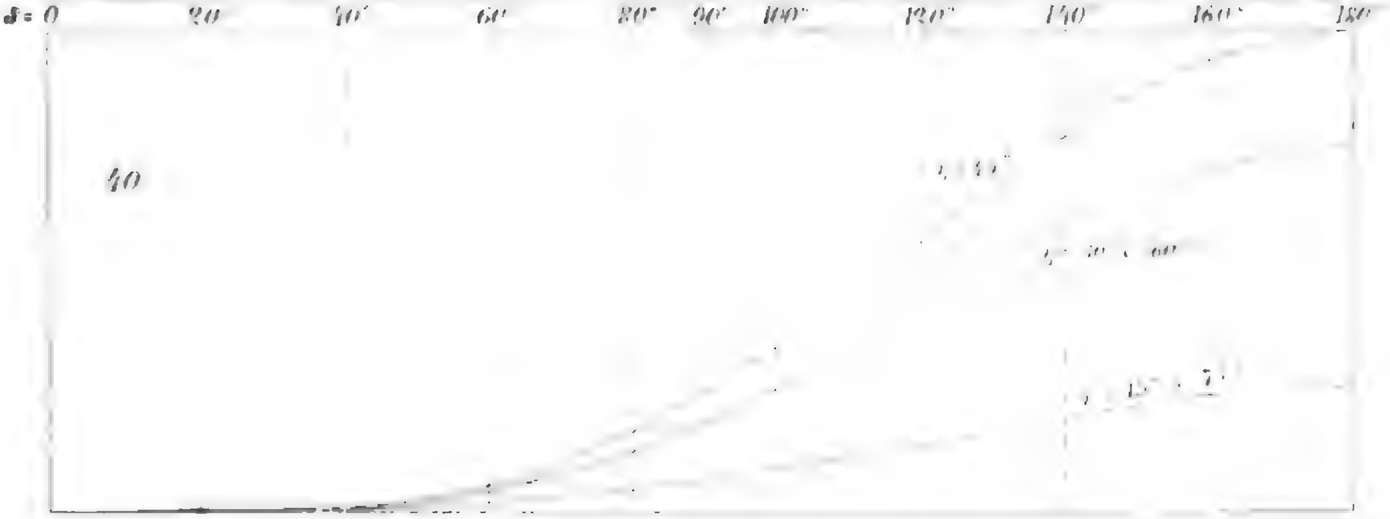
37

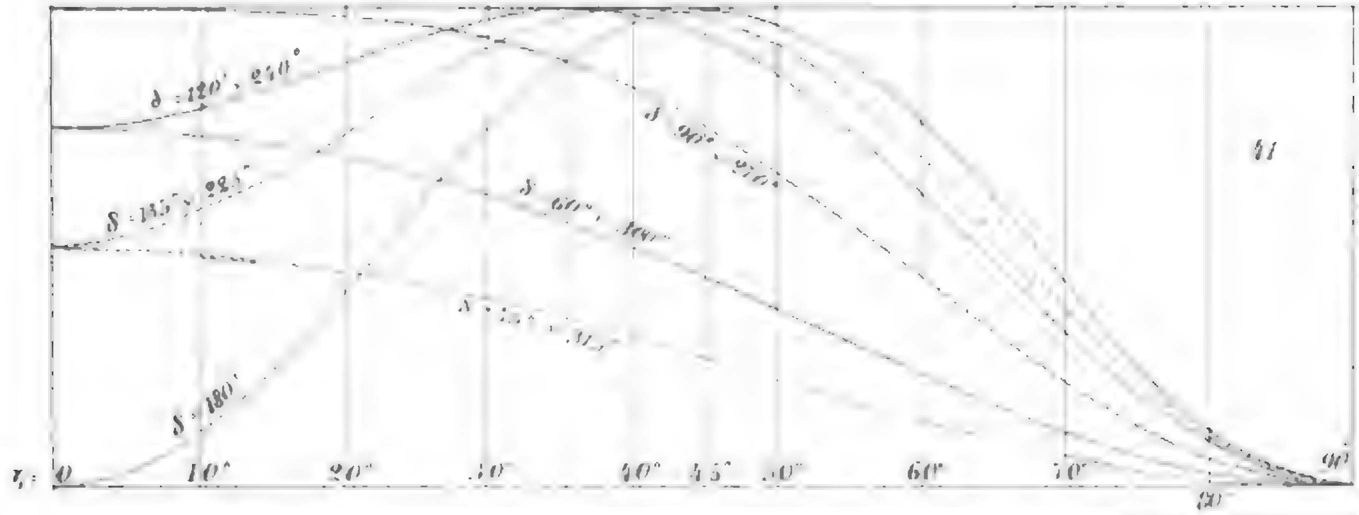

P
A
M
D
C
N
O
B
B
O
N
C
D
M
A
P

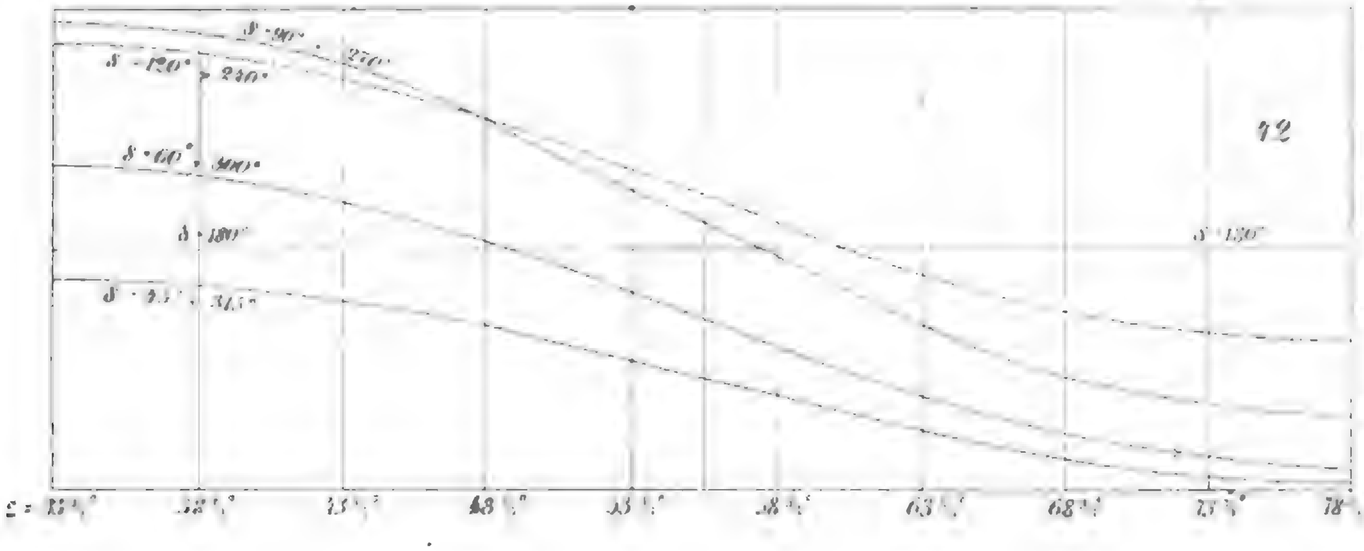
38


A
F
D
d
C
c
G
h
L
B,
q
m
p
B
L
q
G,
D,
K
E
A
C

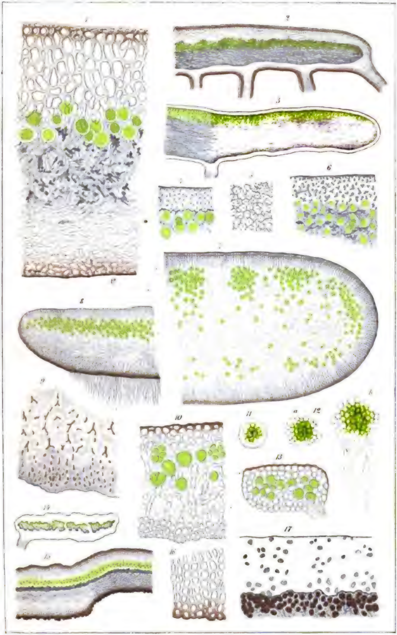

39
ϑ = 0
20°
40°
60°
80°
90°
100°
120°
140°
160
180°
ι = 0
ι = 30°
ι = 45°
ι = 60°
ι = 75°
ι = 90°


40
δ = 0
20
40°
60°
80°
90°
100°
120°
140
160°
180°
ι = 30° + 60°
ι = 45° + 75°

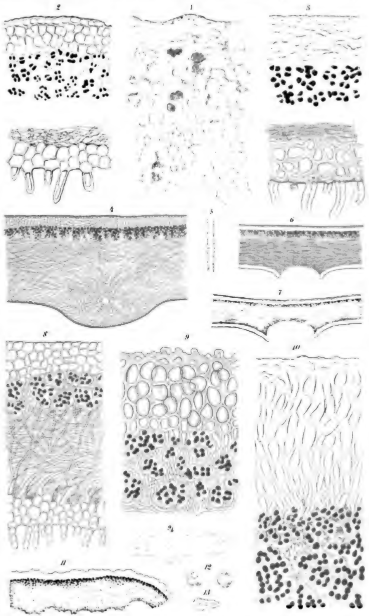

41
δ = 120°, 240°
δ = 90°, 270°
δ = 135°, 225°
δ = 60°, 300°
δ = 45°, 315°
δ = 180°
ι = 0
10°
20°
30°
40°
45°
50°
60°
70°
80°
90°


42
δ = 90°, 270°
δ = 120°, 240°
δ = 60°, 300°
δ = 180°
δ = 45°, 315°
δ = 180°
ε = 33½°
38½°
43½°
48½°
53½°
58½°
63½°
68½°
73½°
78½°

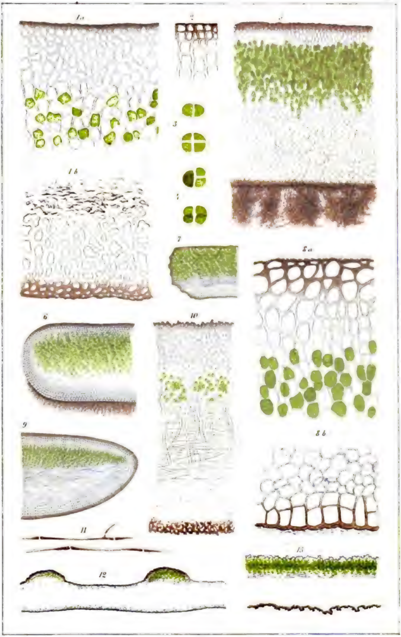
VIII.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
a
12
b
13
14
15
16
17

1-2 Parmelia. 3-6 Imbricaria. 7-9 Placodium. 10-13 Physcia.
14 Anaptychia. 15-17 Umbilicaria.

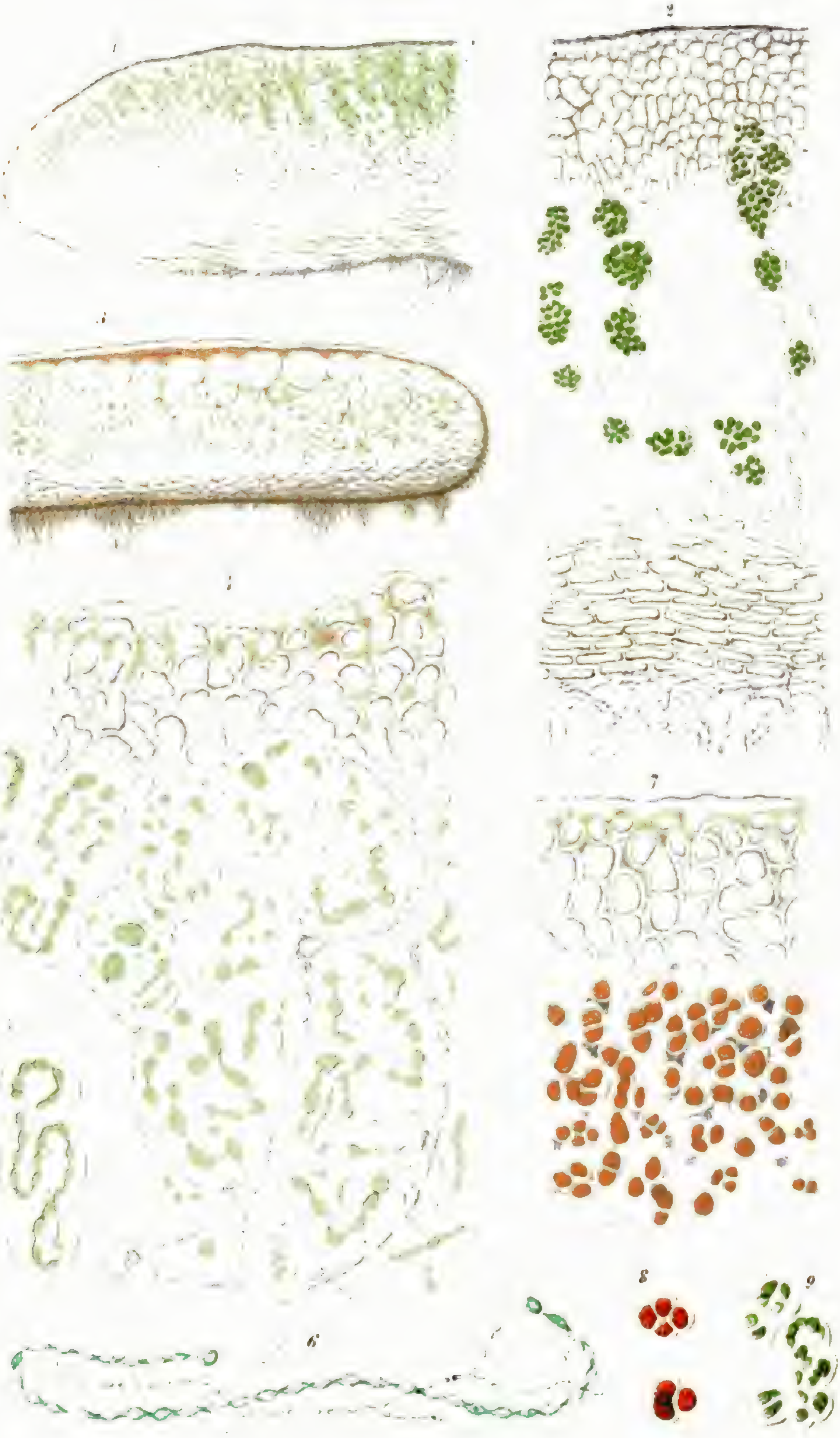

2
1
3
4
5
6
7
8
9
10
9a
11
12
13

1. Heppia. 2 7 Sticta 8 Nephroma. 9 Peltigera. 10 13 Solorina.


1a
2
5
3
4
1b
7
8a
6
10
8b
9
11
12
13

1-9 Endocarpon. 10-15 Gyrophora.

XI.



Pannaria.

Beiträge

zur

Wissenschaftlichen Botanik

von

Carl Nägeli,

Prof. in München.

Viertes Heft.

Dickenwachsthum des Stengels und Anordnung der Gefässstränge bei den Sapindaceen. Mit Taf. I—X. — Entstehung und Wachsthum der Wurzeln von C. Nägeli und H. Leitgeb. Mit Taf. XI—XXI. — Untersuchungen über den Flechtenthallus von S. Schwendener. II. Laub- und Gallertflechten, Schluss. Mit Taf. XXII—XXIII.

Mit 23 lithographirten Tafeln.

Leipzig,
Verlag von Wilhelm Engelmann.
1868.

INHALT.

Dickenwachsthum des Stengels und Anordnung der Gefässstränge bei den Sapindaceen*). (Taf. I—X.)

Pag.

1. Wesen und Ursprung der besondern Holzringe 1
2. Markscheide und Rindenscheide im Allgemeinen, vorzüglich mit Rücksicht auf die Anordnung der Zellen im Querschnitt des Stengels der Dicotyledonen 13
3. Entwickelungsgeschichte der Gewebe auf dem Querschnitt des Stengels der Sapindaceen 21
4. Längsverlauf der Gefässstränge und der Holzringe im Allgemeinen 37
5. Anordnung der Gefässstränge und Bildung der Holzringe bei einzelnen Arten 45
   Cardiospermum inflatum 45. Urvillea ferruginea 48. Paullinia spec. 54. Paullinia alata 56. Serjania mexicana 58. Serjania caracassana 60. Serjania spec. 66.

Erklärung der Tafeln I—X 67

Entstehung und Wachsthum der Wurzeln von C. Nägeli und H. Leitgeb (Taf. XI—XXI.) 73

I. Wurzeln der Gefässcryptogamen mit dreiseitiger Scheitelzelle 74
   B. Theorie des Wachsthums der Scheitelzelle und der Segmente 91
   C. Specielle Ausführungen 103
      1. Equisetum . . . . —
      2. Polypodiaceae 111
      3. Marsilia 114

II. Wurzeln und wurzelähnliche Organe der übrigen Gefässcryptogamen und einiger Phanerogamen 116
   A. Wurzeln von Lycopodium 117
   B. Wurzeln und Wurzelträger von Selaginella 124
   C. Wurzeln von Isoëtes 131
   D. Wurzeln einiger Phanerogamen 138
   E. Rhizoide von Psilotum 147

Erklärung der Tafeln 152

---

*) Diese Abhandlung wurde bei Anlass des fünfzigjährigen Doctorjubiläums des Hrn. Geheimen-Raths von Martius den 30. März 1864 Freunden und Bekannten mitgetheilt.

Pag.
Untersuchungen über den Flechtenthallus von Dr. S. Schwendener.
II. Laub- und Gallertflechten; Schluss. (Taf. XXII—XXIII.) . . . 161

Raccoblennaceae . . . . —
Raccoblenna 162. Lecothecium 163. Micaraea 166. Porocyphus 166.
Ephebaceae 166
Ephebe 167. Spilonema 171. Gonionema 172. Coenogonium 172. Cystocoleus 173.
Gallertflechten 174
I. Collemaceae 182
1. Leptogieae. Mallotium, Leptogium, Obryzum 183
2. Collemeae. Collema, Synechoblastus 185
3. Plectopsoreae. Lempholemma, Plectopsora 187
II. Omphalariaceae 189
Omphalaria, Enchylium 189. Psorotichia 192.
Nachtrag 195
Erklärung der Tafeln XXII, XXIII 200

Dickenwachsthum des Stengels und Anordnung der Gefässstränge bei den Sapindaceen.

Die Sapindaceen gehören wohl zu den merkwürdigsten Beispielen abnormaler Holzbildung. Manche von ihnen besitzen ausserhalb des gewöhnlichen Holzcylinders noch mehrere, meist kleinere, aber sonst ganz gleich sich verhaltende Holzcylinder (VI, 17; IX, 11). Wir finden hier gewissermassen das Gegentheil von dem, was uns Phytolacca zeigt, wo im Marke Gefässstränge auftreten, von denen jeder einem Holzcylinder im Kleinen ähnlich sieht. Ich will zuerst das Charakteristische und Gemeinsame in der Anordnung der Holzpartieen, in der Gewebebildung überhaupt und im Verlauf der Gefässbündel bei den Sapindaceen, namentlich mit Rücksicht auf die Entwicklungsgeschichte betrachten, und nachher noch die Anordnung der Stränge bei einzelnen Arten beschreiben.

1. Wesen und Ursprung der besondern Holzringe.

Das anatomische Verhalten des Sapindaceenstengels ist bekannt, und durch jeden Quer- und Längsschnitt leicht zu ermitteln. Das Mark (IX, 11, ν) ist umgeben von einer Markscheide (ω) und einem Holzring (ausserhalb ω), den ich den allgemeinen nennen will. Auf den Holzring folgt der allgemeine Cambiumring (φ, φ_1), dann die Epenrinde (χ, σ), der Bastring (ϱ) und zuletzt die Protenrinde (μ, μ_1) mit Epidermis oder Periderm. Stellenweise ist die Epenrinde mächtiger und schliesst kleinere Holzringe ein, die ich im Gegensatz zum allgemeinen als besondere bezeichnen will. Der besondere Holzring ist ringsum von einem (besonderen) Cambiumring (ξ, π) umschlossen und schliesst ein Mark ein, welches aus dem gleichen Gewebe besteht wie die Markscheide innerhalb des allgemeinen Holzringes. Die besondern Holzringe, in der Zahl von 1—8 vorhanden, sind rücksichtlich ihres Baues dem allgemeinen durchaus analog; an der innern Grenze (zwischen Holz und Mark) befinden sich einige Stränge von abrollbaren Gefässen; im Holz selbst kommen nur poröse Gefässe vor.

Wenn man den ältern Stamm einer Sapindacee mit den besprochenen abnormalen Holzringen im Querschnitt betrachtet, so scheint es auf den ersten Anblick, als ob Zweige dem Stamm angewachsen wären. Schleiden (Grundzüge, 3. Aufl., II, 166) sagt, dem genauen Beobachter widerlege sich aber diese Ansicht sogleich durch den Mangel des Markes in den äussern Holzportionen. Darauf ist indess zu entgegnen, dass dem genaueren Beobachter das Mark wieder zum Vorschein kommt; es mangelt nie, wird aber leicht übersehen, weil seine Zellen oft dicke Wandungen haben, und desswegen auf dem Querschnitt den Holzzellen ähnlich sehen. Der Längsschnitt zeigt aber, dass es kürzere und parenchymatische Zellen sind.

Dieses Mark der besondern Holzringe hat nun zwar eine andere morphologische Bedeutung als dasjenige des allgemeinen. Es entsteht nämlich, wie ich zeigen werde, nicht aus Meristem, sondern aus Cambium, und ist somit nicht als Proten- sondern als Epenmark zu bezeichnen. — Uebrigens bemerke ich, dass die An- oder Abwesenheit des Markes durchaus gleichgültig ist für die Entscheidung der Frage, ob ein Complex von Holz und andern Geweben als Theil eines Stengels oder als ganzer Stengel zu betrachten sei. Denn es gibt nicht nur unter den Gefässkryptogamen, sondern auch unter den Dicotyledonen Beispiele, wo das Mark in einem Stammtheil viel vollständiger mangelt, als in den besondern Holzringen der Sapindaceen.

Die Ansicht der Zweignatur wurde dagegen neuerlich von Schacht wiederholt (Anat. u. Phys. der Gewächse II. 59). Er sagt: Die äussern Holzringe entstehen hier aus Seitenknospen des centralen Holzringes (die bei einer Serjania axillar zu sein scheinen), sie bilden Zweige, welche für eine Zeit lang mit dem innern Hauptstamm nahebei parallel fortwachsen und mit ihm durch eine gemeinsame Rinde verbunden bleiben etc. — Schon der mit blossem Auge zu verfolgende Längsverlauf der besondern Holzringe macht aber eine solche Theorie unwahrscheinlich; denn manchmal verlieren sie sich nach oben wieder theilweise in den Stamm. Die Anatomie zeigt ihre Unmöglichkeit; denn die Gefässstränge der sogenannten Zweige gehen in die Blätter des Stammes aus, und ein einziger gemeinsamer Bastring umgiebt die besondern sammt dem allgemeinen Holzring. Die Entwickelungsgeschichte sowohl der morphologischen, als der anatomischen Verhältnisse weist die gänzliche Grundlosigkeit nach; denn der windende Sapindaceenstengel wird wie jeder andere Dicotyledonenspross mit einzelstehenden Blättern und Axillarknospen angelegt, aus denen wirkliche, von der Basis an frei bleibende Zweige hervorgehen; die zwischen den Blättern befindlichen Internodien sind anfänglich, auch rücksichtlich ihres Gewebes, nicht von denen der normalgebildeten Dicotyledonen zu unterscheiden, und erst nach und nach entwickelt sich ihr abweichender Bau.

Die morphologische Bedeutung der besondern Holzringe kann nur aus ihrer Entwickelungsgeschichte und aus dem Vergleiche derselben mit der Entwickelungsgeschichte der übrigen Dicotyledonenstengel erkannt werden.

In der Stammspitze aller Dicotyledonen werden in dem parenchymatischen Bildungsgewebe (Urmeristem) Cambiumstränge sichtbar (X, 1), aus denen die in die Blätter ausbiegenden gemeinsamen Gefässstränge sich entwickeln. Diese Cambiumstränge sind zuerst isolirt, nachher werden sie durch den Cambiumring verbunden. Die Gestalt des letztern hängt von der Stellung der erstern ab. Zuweilen liegen die Stränge ziemlich genau in einem Kreise oder in einem Oval. Häufig sind sie abwechselnd mehr und weniger von dem Centrum des Stengels entfernt, wodurch eine Markscheide entsteht, deren Ecken ungleich vorspringen; aber die weiter nach innen gelegenen Stränge entstehen etwas früher und holen die äussern und später entstehenden durch ihr Dickenwachsthum ein. In beiden Fällen zeigt der Cambiumring eine ziemlich regelmässige, kreisrunde oder ovale Form.

Es können aber auch die Cambiumstränge ziemlich gleichzeitig entstehen und doch ungleich weit vom Centrum entfernt sein. Oder es wird diese Ungleichheit, bei ungleichzeitiger Anlegung, durch das geringe Dickenwachsthum nicht ausgeglichen. In diesen Fällen zeigt sich der Cambiumring nicht gleichmässig gerundet, sondern mit vorspringenden Ecken. Dabei hat er bald eine regelmässige 3, 4, 5eckige, bald eine unregelmässige Form. Unter den Sapindaceen mit normalem Bau gibt es namentlich auch solche Beispiele (I, 4, 6, 7; IV, 5, 6).

Wenn die Cambiumstränge, die auf einem Querschnitt der Stammspitze sich bilden, so ungleich grosse Abstände vom Centrum zeigen, dass der Cambiumring sie nicht alle vereinigen kann, so entstehen entweder jene Bildungen, wie sie Phytolacca, die Nyctagineen etc. zeigen, oder jene, welche wir bei den Sapindaceen mit abnormalem Bau finden. Im erstern Falle bleiben einige Stränge zerstreut im Marke zurück, und nur die äussern werden durch den Cambiumring verbunden. Im zweiten Falle vereinigt der Cambiumring die innern Stränge und die äussern werden ausgeschlossen. Den letzteren Vorgang will ich im Folgenden einlässlicher betrachten.

Die Cambiumstränge, welche in dem Urmeristem der Stammspitze sichtbar werden und dazu bestimmt sind, sich in Gefässstränge zu verwandeln, entstehen bei den windenden Sapindaceen nicht gleichzeitig auf dem Querschnitte; sie sind ferner ungleich gross und liegen meistens in sehr ungleichen Abständen vom Centrum. An einzelnen Stellen, die den Kanten des Stengels entsprechen, bilden sie sogar 2 (oder 3) Lagen, eine äussere und eine innere. Das Meristem zwischen den Strängen verwandelt sich, wie es bei den Dicotyledonen gewöhnlich der Fall ist, in Cambium, welches auch hier in Form eines Ringes auftritt. Derselbe ist aber wegen der ungleichen Entfernung der Stränge vom Centrum einmal aus- und einwärts gebogen. Ferner nimmt er, wo 2 oder mehrere Stränge radial hintereinander stehen, dieselben sammt dem zwischenliegenden Meristem in sich auf, so dass er an diesen Stellen viel dicker wird.

Der Vorgang, wie ich ihn eben geschildert habe, lässt sich nur selten und nur undeutlich verfolgen. In den Stengelecken wird oft nur ein verdickter Strang von Anfang an sichtbar. Zuweilen erscheint auch gleich ein zusammenhängender Ring. Da aber in den allerersten Zuständen für manche Fälle eine Unterbrechung des Cambiums in tangentialer Richtung und in andern eine Unterbrechung desselben in radialer Richtung sicher ist, und diese Unterbrechungen mit der spätern Anordnung der Gefässpartieen zusammenstimmen, so spricht die Wahrscheinlichkeit durchaus dafür, dass das Cambium ursprünglich immer in ebenso vielen isolirten Strängen angelegt werde, als sich nachher Gefässstränge unterscheiden lassen.

Mögen nun die ersten Stadien mehr oder weniger sich der Beobachtung entziehen, so tritt immer bald ein Zustand ein, wo auf dem Querschnitt des Stengels ein Cambiumring von unregelmässiger Form und mit knotenförmigen Anschwellungen in den Ecken deutlich ist. In demselben werden dann einzelne Gefässgruppen sichtbar, die in ihrer Entstehungsfolge denjenigen der anfänglichen Cambiumstränge entsprechen. Das innerste und das äusserste Gewebe des Cambiumringes fängt an, in Dauergewebe sich zu verwandeln, und einerseits die Markscheide, anderseits den Bastring und die äusserste Partie des secundären (oder Epen-) Rindenparenchyms zu bilden.

Haben die Gefässstränge annähernd eine analoge Stellung wie bei der Mehrzahl der Dicotyledonen, so stimmt auch das weitere Verhalten der Gewebebildung mit denselben überein. Befinden sich aber in einer Stengelecke mehrere Gefässstränge, die sehr ungleich weit vom Centrum entfernt sind, so treten abweichende Erscheinungen auf; zwischen diesen Gefässsträngen, von denen immer zuerst die äussern, nachher die innern sichtbar werden, geht das Cambium in Dauergewebe über, während es ausserhalb und innerhalb noch im Zustande des Bildungsgewebes beharrt. Man hat jetzt mitten in der Verdickung des Cambiumringes eine isolirte Partie von Dauergewebe; der Cambiumring spaltet sich an dieser Stelle in 2 Lamellen, wie ein Fluss, in dem eine Insel liegt.

Dieser Zustand, der bei sehr ungleichem Abstand der Gefässstränge vom Mittelpunkt wohl immer eintritt, kann sich in verschiedener Art weiter bilden. In dem einen Falle setzt sich die Insel von Dauergewebe mit der Markscheide in Verbindung, indem das zwischenliegende Cambium ebenfalls in Dauergewebe übergeht. Der allgemeine Cambiumring bildet dann an dieser Stelle eine nach aussen vorspringende Falte, in welche die Markscheide mit einem Fortsatze hineinragt, und er berührt alle einzelnen Gefässgruppen. Diese Cambiumfalte ist von halbrunder, selbst von fast kreisrunder Gestalt, mit weiter oder enger Mündung auf der Seite des Markes (IV, 6). Die Form wird erst recht deutlich, wenn der Holzring sich zu bilden angefangen hat (III, 13, 14; VI, 17, a; VII, 8 bei g, e und h; IX, 2, 6, 11). Die Gefässstränge, welche zuerst angelegt wurden, befinden sich in der Mitte der Ausfaltung, die spätern im Halse derselben.

Im andern Falle aber zerfällt die Cambiumlamelle, welche auf der Innenseite der Insel von Dauergewebe liegt, in zwei durch Dauergewebe geschiedene Blätter, von denen das innere sich in den allgemeinen Cambiumring fortsetzt und einen Theil desselben ausmacht, das äussere aber mit dem auf der Aussenseite der Insel sich herumziehenden Cambium einen besondern Ring darstellt. Dieser besondere Ring, der sich nach und nach zu einem Holzring ausbildet, vereinigt meistens alle in der Stengelecke befindlichen Gefässstränge; von den letztern kann aber auch der eine oder andere in den allgemeinen Ring aufgenommen werden. — Diess ist der Verlauf im Allgemeinen; ich will denselben, wie er bei **Serjania caracassana** beobachtet werden kann, noch ausführlicher von Anfang beschreiben.

Der Cambiumring, welcher sich aus dem Urmeristem der Stengelspitze ausscheidet, ist wie gewöhnlich in den Ecken verdickt. In einer solchen Verdickung werden zuerst einige Gefässe sichtbar, die eine oder zwei neben einander liegende Gruppen darstellen; es sind die äussern Gefässstränge des künftigen besondern Holzringes (X, 3; 4; 6, f; 7, f). Ferner beginnt der äusserste Theil des Cambiums sich in Bast, der darauffolgende in Epenparenchym (secundäre Rinde) zu verwandeln; der innerste Theil des Cambiums wird zur Markscheide. In einiger Entfernung nach einwärts von dem einen oder den zwei Gefässsträngen treten etwas später einer oder mehrere Gefässstränge auf (VII, 1; X, 8, g); sie sind für die innere Seite des besondern Holzringes bestimmt. Zwischen den äussern und innern Gefässsträngen verwandelt sich das Cambium in Dauergewebe (X, 8, τ); es ist das Mark des besondern Holzringes und nach seinem anatomischen Character vollkommen identisch mit der Markscheide des allgemeinen Ringes.

Der allgemeine Cambiumring ist jetzt auf eine bestimmte Strecke in zwei Lamellen gespalten, welche die Gefässstränge und das zwischen ihnen befindliche Dauergewebe einschliessen (X, 3, 4). Dieser Zustand dauert indess nicht lange. Die innere Lamelle des Cambiumringes wird beträchtlich dicker, und zerfällt, indem eine mittlere Zone zu Dauergewebe wird, in drei parallele Lamellen: eine äussere und eine innere Cambiumschicht, und eine mittlere Schicht von Dauerparenchym, zuweilen mit einem oder einigen Gefässsträngen (X, 5; in Fig. 7 u. 8 hat diese Scheidung eben begonnen, π ist das äussere, φ das noch kaum angedeutete innere Cambium, χ das Dauergewebe). Diese mittlere Lamelle (5 zwischen π und φ) setzt sich beiderseits fort, bis sie die secundäre Rinde des allgemeinen Ringes trifft. Damit hat sich das Cambium in zwei einander nicht mehr berührende Theile geschieden, eine innere Partie, die dem allgemeinen Cambiumring angehört (5, φ) und eine äussere Partie, die einen vollständigen besondern Ring darstellt (5, ξ—π). Auf dem Radius, welcher durch die Stengelkante geht, bemerkt man somit von innen nach aussen 1) das Protenmark, 2) die Markscheide mit oder ohne Gefässstränge, 3) den allgemeinen Cambiumring (X, 8, φ), 4) ein Dauergewebe, welches als secundäre Rinde zu bezeichnen ist (χ), 5) der innere Theil des besondern Cambiumringes (π), 6) das Epenmark, welches derselbe einschliesst (τ) mit Gefässbündeln an der innern und äussern Seite (f, g), 7) der äussere Theil des besondern Cambiumringes (ξ), 8) die secundäre Rinde (σ), 9) der Bastring (ρ), 10) die Protenrinde (μ). Alle Gewebetheile, welche zwischen dem Protenmark und der Protenrinde liegen, sind aus Cambium entstanden und somit als Epen zu bezeichnen.

Auf diese Art bilden sich fast ohne Ausnahme alle besondern Holzringe. Die innere Seite derselben hat dabei gewöhnlich einen oder mehrere Gefässstränge aufgenommen (VI, 17; IX, 11), indess häufig keine für den allgemeinen Holzring an der entsprechenden Stelle übrig bleiben. In seltenen Ausnahmen oder nur an bestimmten und begrenzten Stellen kann der besondere Holzring aus einem einzigen Gefässstrang sich entwickeln. Dann trennen sich die beiden Lamellen, in die der Cambiumring unter einer Stengelkante gespalten ist und welche die Insel von Dauergewebe umschliessen (X, 3, 4), in der Art von einander, dass die Verbindungsstellen beiderseits in Dauergewebe übergehen und somit die von den beiden Cambiumlamellen früher eingeschlossene Insel nunmehr mit der Epenrinde in Communication tritt. Die innere Cambiumlamelle gehört jetzt vollständig dem allgemeinen Cambiumring an, die äussere stellt einen unvollständigen, nach innen geöffneten Ring dar. Die gleiche Gestalt hat auch der aus demselben hervorgehende Holzring (III, 15). Derselbe kann sich auch früher oder später beinahe oder vollständig schliessen; er ist dann fast marklos.

Der besondere Cambiumring verhält sich rücksichtlich seiner Function genau wie der allgemeine. Der letztere vermehrt fortwährend seine Zellenzahl, und in gleichem Maasse gehen fortwährend die Zellen an seiner concaven Seite in Xylem (Holzzellen und poröse Gefässe), diejenigen an seiner convexen Seite in Phloëm (Epenrinde) über. Ebenso sind die Zellen des besondern Cambiumringes, solange der Stengel lebt, in Vermehrung begriffen; an seiner concaven Seite bildet er einen Holzring, welcher aus Holzzellen und porösen Gefässen zusammengesetzt ist, und sich an die ursprünglichen aus abrollbaren Gefässen bestehenden Stränge anlehnt; an seiner convexen Seite erzeugt er ringsum secundäre Rinde (IX, 11, σ, χ). Beide, Holzring und secundäre Rinde, werden immer mächtiger.

Je älter der Stammtheil wird, desto mehr entfernt sich der Bastring von dem allgemeinen und von den besondern Holzringen, weil beide fortwährend secundäre Rinde bilden (IX, 11, σ und $\chi\sigma$). Je älter der Stammtheil wird, desto mehr entfernt sich auch der besondere Holzring von dem allgemeinen, und dafür ist eine doppelte Ursache vorhanden, weil das Cambium des einen und des andern zur Vergrösserung des zwischengelegenen Rindenparenchyms beiträgt (IX, 11, χ).

Es frägt sich nun, wie die Erscheinung der besonderen Holzringe mit dem gewöhnlichen Dicotyledonentypus vereinigt werden kann. Der letztere ist bei den nicht schlingenden Sapindaceen und selbst bei manchen schlingenden in seiner ganzen Reinheit vorhanden, und macht sich bei den übrigen oft stellenweise geltend. Es gibt Arten, wo die besondern Holzringe ausserhalb des allgemeinen bald vorhanden sind, bald mangeln. Selbst an dem gleichen Spross folgen die einen Internodien dem gewöhnlichen Typus, während andere 1, 2 oder 3 besondere Holzringe zeigen; oder die besonderen Holzringe sind nur an einzelnen Stengelseiten vorhanden. Daraus geht jedenfalls mit Sicherheit hervor, dass das abnormale Verhalten mancher Sapindaceen, so fremdartig es aussieht, doch mit der gewöhnlichen Bildung nahe verwandt sein muss.

Der Character der Dicotyledonen, worin sie alle mit einander übereinstimmen und sich von den Monocotyledonen und Gefässkryptogamen unterscheiden, besteht darin, dass ein Cambiumstrang, indem er auf der einen Seite (nach innen) Xylem, auf der andern (nach aussen) Phloëm bildet, in der Mitte Cambium bleibt, und nach rechts und links mit andern Cambiumsträngen sich zu vereinigen und einen Ring zu bilden das Bestreben hat. Beim gewöhnlichen Dicotyledonentypus werden alle Stränge des Querschnittes in einen einzigen Ring verbunden. Wenn man den besondern Holzring an solchen Sapindaceenstengeln, welche die abnormale Bildung nur an einzelnen Internodien zeigen, aufwärts oder abwärts verfolgt, so sieht man, wie er sich in den allgemeinen Holzring öffnet und sich als Falte desselben fortsetzt. Es scheint nun, hierauf gestützt, die Theorie nahe zu liegen, dass in dem Sapindaceenstengel wie beim gewöhnlichen Dicotyledonentypus ursprünglich alle Stränge in einen einzigen Cambiummantel vereinigt werden, welcher wegen ihrer ungleichen Entfernung vom Centrum in weitere und engere, seichtere und tiefere Falten gelegt ist. Wenn eine solche Falte weit nach aussen vorspringt und innen eine enge Mündung hat, so verwachsen ihre beiden Blätter in dieser Mündung, indem sie durch zwischengelagertes Cambium sich vereinigen. Dadurch schliesst sich die Falte zu einem besondern Ring, welcher zuerst noch durch Cambium mit dem allgemeinen Ring zusammenhängt, und dann von demselben sich lostrennt, indem das verbindende Cambium zu secundärem Rindenparenchym wird.

Indessen wenn auch diese Erklärung durch den Längsverlauf der Gewebe nahegelegt wird, so ist doch nicht gesagt, dass die Veränderungen, welche ein Zweig von oben oder von unten angefangen bis zu einer gewissen Stelle darbietet, auch diejenigen seien, welche diese Stelle während ihrer Entwickelung durchlaufen hat. Ueberdem sprechen für die genannte Theorie weder die Entwickelungsgeschichte, noch stimmt mit ihr der Umstand, dass die Stränge in der Regel eine Lage zeigen, welche ihre Vereinigung in den nämlichen Ring unmöglich zu machen scheint. Es muss daher der Zusammenhang zwischen dem gewöhnlichen Typus der Dicotyledonen und der abnormalen Bildung der Sapindaceen auf eine andere Weise gesucht werden.

Die Entwickelungsgeschichte zeigt uns, wie schon früher bemerkt, innerhalb der Stengelecken, wo später ein besonderer Ring sich bilden soll, zuerst einige zerstreute Cambiumstränge. Dieselben sind indessen selten deutlich zu sehen, weil sie bald durch zwischenliegendes Cambium vereinigt werden, und nur eine verdickte Partie des allgemeinen und noch einzigen Cambiumringes darstellen. Die Stellen jener ursprünglichen Cambiumstränge werden aber bald wieder deutlich, indem daselbst die ersten Gefässe auftreten. In analoger Weise sieht man in manchen dem gewöhnlichen Typus folgenden Dicotyledonenstengeln zuerst die in einem Kreise stehenden getrennten Cambiumstränge; dann verschwinden dieselben in dem Cambiumring, und werden nachher wieder als Gefässgruppen sichtbar. Diese Gefässgruppen bleiben durch eine ihre äussere Fläche berührende Cambiumlamelle verbunden, indess das übrige (innere und äussere) Cambium in Dauergewebe (einerseits Markscheide, anderseits Bast und äusserste Partie des Epenrindenparenchyms) übergeht. Ebenso verwandelt sich die ganze innerhalb einer Kante des Sapindaceenstengels liegende Cambiummasse in Dauergewebe mit Ausnahme von Lamellen, welche alle einzelnen Gefässgruppen berühren und unter sich verbinden. Die Ursache nun für die verschiedenen Bildungen liegt einzig in der räumlichen Vertheilung der Gefässstränge auf dem Querschnitte. Zuweilen erlaubt ihre Anordnung, dass das Bestreben mit andern benachbarten

Strängen sich zu vereinigen, durch einen einzigen Cambiumring befriedigt wird. Häufig aber ist dies wegen ihrer eigenthümlichen Stellung unmöglich, und es bildet sich demnach ausser dem allgemeinen noch ein besonderer Ring.

Diese Theorie wird, wie mir scheint, durch alle Erscheinungen bestätigt, und ich kenne keine Thatsache, die dagegen spräche. Es sind namentlich zwei Punkte von Wichtigkeit: 1) die Anordnung der Gefässstränge, und 2) ihr causales Verhältniss zum Cambiumring; ich will dieselben noch etwas näher besprechen. In ersterer Beziehung ist einmal hervorzuheben, dass beinahe nie ein einziger Gefässstrang einen besondern Holzring erzeugt, sondern dass dazu in der Regel zwei oder mehr Stränge erforderlich sind. Ein einziger Strang, wenn er auch weit von dem allgemeinen Cambiumring abliegt, hat immer die Neigung in eine Falte desselben aufgenommen zu werden. Es ist dies begreiflich, da das Cambium eines Stranges nur durch dasjenige eines anderen näherliegenden von der Vereinigung mit dem allgemeinen Cambiumring abgehalten, und zur gemeinschaftlichen Bildung eines besondern Ringes veranlasst werden kann.

Wenn innerhalb einer Kante mehrere Gefässstränge in ungleichen Abständen von dem Centrum liegen, so werden dieselben jedesmal durch den allgemeinen Cambiumring (d. h. durch eine Falte desselben) verbunden, vorausgesetzt, dass sie von diesem nicht allzu entfernt sind und dass sie durch ihre gegenseitige Lage eine Ausfaltung des Cambiummantels gestatten. Was den letztern Punkt betrifft, so muss es als besonders günstig bezeichnet werden, wenn ein äusserer Strang so vor zwei innere gestellt ist, dass sein Radius mitten zwischen diesen beiden hindurch geht. Liegt ein solches mit der Basis nach dem Marke gekehrtes Strangdreieck nicht weit von dem allgemeinen Cambiumring entfernt, so wird es wohl immer in eine Falte desselben aufgenommen (VI, 17, a; IV, 6, α, α_1; IX, 1, k; 2, g; 11, d). Ist es aber weit nach aussen gerückt, so kann es einen besondern Ring ausserhalb des allgemeinen bilden. Ein besonderer Ring wird ferner wohl immer durch zwei Gefässstränge hervorgebracht, die auf dem nämlichen Radius hinter einander liegen, selbst wenn sie dem allgemeinen Ring sehr nahe sind, denn eine Vereinigung derselben vermittelst einer Falte ist undenkbar (VI, 17, d, g; II, 5; IX, 1, q, n). Ausserdem entstehen besondere Cambiumringe, wenn drei Stränge zusammen ein Dreieck bilden, dessen Scheitel nach dem Mittelpunkt gekehrt ist (VI, 17, b, e), ferner wenn zwei äussere Stränge genau vor zwei innern stehen (VI, 17, f), endlich überhaupt wenn 4, 5 oder 6 Stränge so angeordnet sind, dass sie eine äussere und eine innere Reihe bilden (IX, 2, m; 11, e – c, h – f.); und die abnormale Bildung tritt immer um so eher ein, je weiter diese Stranggruppen nach aussen von dem allgemeinen Cambiumring liegen, weil mit der Entfernung die Möglichkeit der Faltenbildung abnimmt.

Ein anderer Punkt ist das causale Verhältniss der Stränge zum Cambiumring. Ich habe früher (Heft I, 133) für Chamaedorea gezeigt, dass die Theorie, es entstehen die Gefässstränge in dem Cambium- oder Verdickungsring, und es werde, da der letztere von innen nach aussen sich bewegt, ihr Abstand vom Centrum durch die Zeit ihres Entstehens bedingt, nicht mit den zu beobachtenden Thatsachen übereinstimmt. Auch die Sapindaceen liefern, abgesehen davon, dass die

Anwesenheit von besondern Cambiumringen sich mit jener Theorie nicht vereinigen liesse, entschiedene Beweise dagegen. Denn hier ist es sogar Regel, dass äussere Gefässstränge vor solchen entstehen, die auf dem nämlichen Radius weiter nach innen liegen, was natürlich nicht der Fall sein könnte, wenn die Stränge vom Verdickungsring gebildet würden, da der letztere nie von aussen nach innen fortschreitet. — Die Stellung der Cambium- und somit der Gefässstränge hängt also nicht von der Lage des Cambiumringes ab. Vielmehr wird diese durch jene bestimmt; denn die Stränge sind es, welche im Urmeristem immer zuerst sichtbar werden, und bei den Sapindaceen ist es sehr deutlich, wie die Cambiumringe sich in ihrer oft unregelmässigen und sonderbaren Gestaltung nach der Vertheilung der Stränge richten. Wenn wir die Holzbildung der Sapindaceen von diesem Gesichtspunkte aus betrachten, so erklärt sie sich auf ziemlich einfache Weise aus dem gewöhnlichen Verhalten des Dicotyledonen-Gefässstranges, wie ich bereits gezeigt habe.

Die eigenthümliche Anordnung der Stränge ist also die Ursache der besondern Holzringe. Man könnte vielleicht einwenden, warum denn nicht auch bei andern Pflanzen, wo die Gefässstränge einen ungleichen Abstand vom Centrum haben, die nämliche abnormale Holzbildung vorkomme. Dieser Einwurf scheint mir aber nicht schwierig zu beseitigen. Erstlich sind natürlich alle Stammtheile von jähriger Dauer, sowie diejenigen, deren Gefässstränge begrenztes Dickenwachsthum haben, auszuschliessen, weil sich da oft überhaupt keine Holzringe entwickeln. Von den übrigen Stammtheilen, deren Gefässstränge ungleich weit vom Centrum abstehen, sind ferner diejenigen auszuschliessen, bei denen die äussern Stränge einen Ring bilden und die innern im Marke zerstreut liegen; denn die letztern sind einzeln stehend (nicht in Gruppen vereinigt) und haben ebenfalls begrenztes Dickenwachsthum. Dieselben verhalten sich ähnlich wie einzelne Stränge im Sapindaceenstengel, welche sehr weit ausserhalb des allgemeinen Cambiumrings liegen. Da sich keine andern Stränge in der Nähe befinden, mit denen sie sich vereinigen könnten, so nimmt der einzelne Strang eine rinnenförmige Gestalt an und schliesst sich wohl auch zu einem vollständigen kleinen Ring. Dabei tritt aber die charakteristische Differenz auf, dass die im Marke befindlichen Stränge nach aussen, die in der Rinde liegenden nach innen sich einbiegen. Jene bilden daher kleine Holzringe, welche den Bastkörper im Innern, das Holz am Umfange haben (so bei Phytolacca, vgl. Heft I, 15); bei diesen ist die Lage der Theile umgekehrt (Taf. III, 15). Dieser Gegensatz scheint mir durch den Umstand erklärt zu werden, dass die Cambiumstränge das Bestreben haben, mit dem Cambiumring sich zu vereinigen, und daher gegen denselben sich einbiegen.

Es sind somit nur die Stengel mit zerstreuten Strängen ausserhalb des Strangkreises, welche die Veranlassung zur Bildung von besondern Cambiumringen geben können. Diese Stränge kommen aus den Blättern. Sobald sie sich den übrigen Strängen auf eine gewisse Entfernung genähert haben, erfolgt die Vereinigung durch eine Cambiumlamelle, und soweit es immer möglich ist, die Vereinigung aller Cambiumlamellen in einen einzigen Ring. Die Bildung von besondern

Ringen hat nur statt, wenn die Stränge wegen ihrer Anordnung sonst nicht in Verbindung treten können. Bei den schlingenden Sapindaceen weicht nun diese Anordnung von der gewöhnlichen Kreisstellung mehr ab, als diess bei andern Gewächsen der Fall ist; dennoch unterbleibt auch bei ihnen sehr häufig die Bildung von besondern Holzringen. Es ist daher begreiflich, dass sie überhaupt beinahe die einzigen Beispiele für diese abnormale Erscheinung liefern.

Die bisher erörterten Gründe beweisen, dass die Anordnung der Cambiumstränge den Verlauf des allgemeinen Cambiumringes, sowie die Bildung von besondern Ringen bedingt. Die weitere Entwickelung der Stränge aber hängt ihrerseits, wenigstens mit Rücksicht auf die Richtung des Dickenwachsthums, von den Cambiumringen ab. Im gewöhnlichen Dicotyledonenstengel, wo anfänglich ein Kreis von Cambiumsträngen, dann ein dieselben verbindender Ring auftritt, schreitet die Gefäss- und Holzbildung von innen nach aussen, die Bast- und Epenrindenbildung von aussen nach innen fort, sowohl in jedem einzelnen Strang, als in dem sie verbindenden Ring. Die Elemente zeigen eine radiale Anordnung, was besonders dann deutlich wird, wenn die Stränge sich stark, der verbindende Ring sich wenig entwickelt. Man sieht dann z. B. auf dem nämlichen Radius nach einander einen Strang von Siebröhren, einen Strang von abrollbaren Gefässen (erst Ring-, dann Spiralgefässe), Holz mit porösen Gefässen, Cambium, secundäre Rinde (mit Siebröhren), Bast. Für diese Wachsthumsrichtung sind zwei Ursachen denkbar: entweder wird sie durch den ganzen Querschnitt des Stengels bedingt, und dann muss sie ihrem Wesen nach als eine radiale bezeichnet werden; oder sie hängt von dem Cambiumring ab, indem sie rechtwinklig auf demselben steht. Man möchte wohl geneigt sein, das Erstere anzunehmen; allein die Sapindaceen zeigen, dass das Letztere wirklich der Fall ist. Ueberall nämlich, wo der Cambiumring eine nicht concentrische Richtung hat, wird das Dickenwachsthum der Gefässstränge durch denselben und nicht durch den Radius des Stengels bestimmt. So finden wir in den Falten des allgemeinen Cambiumringes den Dickendurchmesser der Gefässstränge bald genau radial, bald genau tangential (mit dem Stengelumfang parallel), bald in einer mittleren schiefen Lage, — aber immer rechtwinklig zum Cambiumring. Es kommt z. B. nicht selten vor, dass in dem Hals einer Falte zwei Gefässstränge einander gegenüberliegen, deren Wachsthumsrichtung in der nämlichen geraden Linie liegt, aber in entgegengesetztem (abgekehrtem) Sinne fortschreitet (IX, 11 ε, und ε,,). Noch auffallendere Beispiele geben uns die besondern Holzringe, wo ebenfalls die Stränge auf jedem Punkte rechtwinklig zu der dortigen Cambiumlamelle in die Dicke wachsen. Dessnahen sind z. B. diejenigen Stränge, welche an der innern Seite eines besondern Ringes sich befinden, nach dem Centrum des Stengels gekehrt (indem die abrollbaren Gefässe nach aussen, die porösen nach innen liegen, IX, 11, c, e, p), während im gewöhnlichen Dicotyledonenstengel das Umgekehrte statt hat. Vergleichen wir Sapindaceenstengel ohne Faltenbildung des Cambiumringes, solche mit Falten und solche mit besondern Ringen, so finden wir, dass der nämliche Gefässstrang bei gleicher Stellung auf dem Querschnitt im ersten Fall radial nach aussen, im zweiten tangential- oder schiefseitlich, im dritten radial oder schief nach innen gekehrt ist, dass er also mit Rücksicht auf den Stengelhalbmesser alle möglichen Richtungen annehmen kann, während seine Beziehung zu der ihn bedeckenden Cambiumlamelle immer die nämliche ist.

Aus den eben mitgetheilten Thatsachen ergiebt sich, dass bei den Sapindaceen das Dickenwachsthum der Gefässstränge dem Cambiumring und nicht dem Stengelradius folgt, wo diese beiden Richtungen im Widerspruch mit einander sind. Im gewöhnlichen Dicotyledonenstengel fallen beide Richtungen zusammen, und stimmen daher in ihrer Wirkung überein. Die Gefässbündel aber, welche nicht in einen Cambiumring verbunden sind, wie die im Marke zerstreuten bei einigen Dicotyledonenfamilien, haben bekanntlich fast ausnahmslos den Holztheil auf der dem Centrum, den Basttheil auf der dem Umfange zugekehrten Seite. Ihr Dickenwachsthum ist, wenigstens anfänglich ein streng radiales und wird durch den Stengel als Ganzes bestimmt.

Ueberall, wo nun eine Abweichung von dieser normalen radialen Anordnung eintritt, ist sie immer erst secundär, und wird dadurch veranlasst, dass die Cambiumlamelle von der concentrischen Richtung abweicht. Diess ergiebt sich deutlich aus der Entwickelungsgeschichte des Stengels von Phytolacca und der Sapindaceen. Die im Marke isolirten Cambiumstränge von Phytolacca beginnen ihr Dickenwachsthum in radialer Richtung, indem sie nach aussen Bast, nach innen Holz bilden. Nach und nach biegt sich aber das Cambium nach aussen und schliesst sich selbst zu einem Ring, welcher nun überall auf seiner innern Fläche Phloëm, auf seiner äussern Fläche Xylem erzeugt. Man findet daher an den kleinen Holzringen des Phytolaccamarkes Spiral- und Ringgefässe nur auf der dem Mittelpunkte des Stengels zugekehrten Seite, poröse Gefässe aber auf allen Seiten.

Ganz analog verhalten sich die einzelnen Gefässstränge in der Rinde der Sapindaceen, welche ausnahmsweise jeder für sich allein einen kleinen Holzring erzeugen. Die Bildung von Holz und Bast beginnt in radialer Anordnung, jenes nach innen, dieser nach aussen. Sowie die Cambiumlamelle sich biegt und zum Ringe wird, tritt eine entsprechende Abweichung in der Richtung ein. Die Differenz gegenüber von Phytolacca betrifft nur die schon besprochene Erscheinung, dass im einen Falle die Schliessung nach aussen, im andern nach innen erfolgt, und dass im einen Falle der Bast, im andern das Holz das Eingeschlossene ist.

Gewöhnlich wird jeder besondere Cambiumring im Sapindaceenstengel durch eine Gruppe von zwei oder mehreren von Gefässsträngen gebildet. Von denselben sind immer die äussern die stärkern und zuerst auftretenden (in X, 6 u. 7 ist erst der äussere Strang f in seinen Anfängen sichtbar; in 8 hat sich auch der innere g zu bilden begonnen). In den äussern Strängen wird zuerst die räumliche Lage der verschiedenen Theile in der gewöhnlichen Art bestimmt, indem das Xylem dem Centrum, das Phloëm der Peripherie des Stengels zugekehrt ist. Die Differenzirung der Gewebe schreitet von den äussern zu den innern Strängen fort, und bewirkt in den letztern eine dem besondern Cambiumring entsprechende Lage der Theile, wie ich diess schon früher erörtert habe. Hier handelt es sich also nicht bloss, wie in den beiden vorhin erwähnten Beispielen, um eine Cambiumlamelle, die später an den Seiten von dem concentrischen Verlaufe abweicht und poröse Gefässe bildet, sondern um vorher schon vorhandene Cambiumstränge, welche von der Cambiumlamelle erreicht werden, von ihr die abnormale Wachsthumsrichtung erhalten, und gemäss derselben ihre Elementartheile, darunter auch abrollbare Gefässe anordnen. Es ist also der erste Gefässstrang eines besondern Ringes, welcher den Charakter der ganzen Bildung bestimmt. Würde die Entwicklungsgeschichte der besondern Ringe bei den Sapindaceen mit einem innern Strang beginnen, so hätten sie ohne Zweifel das Phloëm im Centrum und das Xylem an der Peripherie, wie die kleinen Holzringe im Mark von Phytolacca.

Ich fasse noch die Resultate, welche sich aus den Untersuchungen über die Entstehungsweise der Structur des Sapindaceenstengels ergeben, kurz zusammen.

1. In dem Urmeristem der Stengelspitze treten Cambiumstränge auf, welche sehr bald sich zu einem stellenweise verdickten Ring vereinigen und etwas später wieder als Gefässstränge sichtbar werden. Diese Gefässstränge bleiben nachher durch schmale Cambiumlamellen verbunden.

2. Die Gefässstränge weichen auf dem Querschnitt des Stengels von der gewöhnlichen Kreisstellung der meisten Dicotyledonen mehr oder weniger ab. Wenn es ihre Anordnung gestattet, so werden sie alle durch eine einzige, wenn auch stellenweise gebogene und gefaltete Cambiumlamelle verbunden. Wo aber die Stränge derart hinter einander gestellt sind, dass ihre Vereinigung in dem nämlichen Ring unmöglich wird, entsteht ausserhalb des allgemeinen ein besonderer Ring.

3. Von zwei hinter einander stehenden Strängen tritt immer zuerst der äussere, nachher der innere auf. Der erste Strang richtet seine Verdickung nach dem Stengelradius, indem er auf der innern Seite Xylem, auf der äussern Phloëm bildet, und bestimmt eine entsprechende Lage der Xylem- und Phloëmseite in dem besondern Cambiumring. Dieser hinwieder bestimmt die Wachsthumsrichtung der spätern Stränge. Daher haben die Gefässstränge, welche die äussere Seite eines besondern Holzringes einnehmen, die gewöhnliche, diejenigen, welche an der innern Seite sich befinden, die umgekehrte Lage ihrer Theile.

4. Die besondern Cambiumringe verhalten sich übrigens wie der allgemeine, insofern als sie auf der ihrem eigenen Centrum zugekehrten Seite zuerst Markscheide (Epenmark) und nachher Holz, am äussern Umfange secundäre Rinde bilden. Von dem allgemeinen unterscheiden sich die besondern Ringe nur dadurch, dass sie bloss Epenmark umschliessen, da ihre ganze Masse aus Cambium hervorgegangen ist. — Der Bastring wird zu einer Zeit angelegt, wo der allgemeine und die besondern Cambiumringe noch vereinigt sind. Nimmt man aber auf die Lage Rücksicht, welche die bastbildenden Cambiumpartieen später einnehmen; so kann man sagen, dass derselbe stellenweise von dem allgemeinen und stellenweise von den besondern Ringen erzeugt werde.

2. Markscheide und Rindenscheide im Allgemeinen, vorzüglich mit Rücksicht auf die Anordnung der Zellen im Querschnitt des Stengels.

Der Querschnitt des Dicotyledonenstammes besteht aus dem Protenmark im Centrum, aus der Protenrinde am Umfange und zwischen beiden aus dem Epenring, welcher durch den Cambiumring in eine äussere und eine innere (Xylem- und Phloëm-) Hälfte geschieden wird. Das Xylem sondert sich gewöhnlich in zwei deutlich verschiedene Partieen, von denen die innere, an das Mark grenzende und dasselbe einschliessende die Markscheide heisst. Meistens zeigt auch das Phloëm eine äusserste differente Partie, die man in analoger Weise als Rindenscheide bezeichnen kann.

Die Markscheide, der innerste und zuerst gebildete Theil des Xylems, tritt bald als ein Kreis von getrennten Strängen, bald als ein ununterbrochener Ring auf, und unterscheidet sich von dem übrigen Xylem (Holzring des gewöhnlichen Stengels) durch verschiedene Merkmale. Wir können 4 Kategorien derselben festhalten: 1) die Beschaffenheit der Zellen rücksichtlich des Inhaltes und der Membran, 2) die Form und Grösse der Zellen, 3) die Gefässe, 4) die Anordnung der Zellen, — wenn wir von denjenigen Fällen absehen, wo sich Phloëm (mit Siebröhren) in der Markscheide bildet.

Mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der Zellen ist die Markscheide oft grün, indess das übrige Xylem farblos ist. Oft sind ihre Zellen dünnwandig, indess die des Holzringes verdickte Wandungen haben. In andern Fällen jedoch mangelt der Markscheide die grüne Farbe, und zuweilen sind ihre Zellen auch dickwandig.

Mit Rücksicht auf die Grösse und Form der Zellen finden wir das Gewebe der Markscheide im Querschnitt gewöhnlich grossmaschiger als dasjenige des übrigen Xylems. Auf dem Längsschnitt sind ihre Zellen in der Regel kürzer als die Prosenchymzellen des Holzringes und unterscheiden sich von den letztern überdem durch ihre parenchymatose Natur. Es giebt indess auch Stengel, wo die Markscheide weder durch die Grösse, noch durch die Form der Zellen sich auszeichnet.

Mit Rücksicht auf die Gefässe hat bekanntlich die Markscheide solche mit abrollbaren Fasern (Ring- und Spiralgefässe), indess sich in allen folgenden Xylemlagen entweder keine oder bloss poröse Gefässe bilden. Am ganzen Stammgerüste der Dicotyledonen und Gymnospermen sind es nur die unterirdischen Theile, wo zuweilen die abrollbaren Gefässe ganz mangeln können.

Endlich mit Rücksicht auf die Anordnung der Zellen im Querschnitt des Stengels finden wir in der Markscheide gewöhnlich keine bestimmte Ordnung und nicht die geringste Andeutung von Reihen, während in dem übrigen Xylem die Zellen radiale Reihen bilden. Indessen giebt es auch Pflanzen, wo die reihenförmige Anordnung schon in der Markscheide mehr oder weniger deutlich ist, andere wo sie auch ausserhalb der Markscheide noch eine Strecke weit undeutlich bleibt.

Jedes einzelne der Merkmale, welche wir an der Markscheide wahrnehmen, kann mangeln. Sie lässt sich daher kaum anders definiren, als dass es die innerste Schicht des Epens ist, welche sich von dem nach aussen folgenden Gewebe mehr oder weniger unterscheidet. Was ihre räumliche Ausdehnung betrifft, so ist dieselbe oft verschieden, je nachdem wir uns an das eine oder andere Merkmal halten, weil die verschiedenen Merkmale nicht gleichzeitig aufhören. Die Markscheide hat in manchen Fällen eine andere Dicke, wenn wir sie nach dem Zelleninhalt und der Verdickung der Membran, oder wenn wir sie nach der Grösse und Gestalt der Zellen, oder nach der Anwesenheit der abrollbaren Gefässe, oder nach der reihenförmigen Anordnung der Zellen beurtheilen.

Was die Grenze zwischen der Markscheide und dem übrigen Xylem betrifft, so kann dieselbe für jedes einzelne Merkmal ganz scharf sein. Wir sehen z. B. dass auf dünnwandige plötzlich dickwandige, auf kurze parenchymatische plötzlich lange prosenchymatische Zellen, auf Ring- und Spiralgefässe plötzlich poröse Gefässe, auf ungeordnete plötzlich gereihte Elemente folgen. Es kann aber auch jedes einzelne Merkmal allmählich in sein Gegentheil übergehen, so dass dann die Grenze auf der breiten Strecke des Uebergangs willkürlich sich ziehen lässt.

Die Beschaffenheit der Markscheidenzellen rücksichtlich des Inhaltes und der Membran, sowie ihrer Form und Grösse hängen von physiologischen Eigenthümlichkeiten ab, deren Zusammenhang mit andern Erscheinungen uns noch verborgen ist. Die beiden übrigen Merkmale dagegen, nämlich die eigenthümliche Ausbildung der Gefässe und der Mangel einer reihenförmigen Anordnung, treffen mit bestimmten Wachsthumsverhältnissen zusammen und können als deren Folge betrachtet werden. Der Uebergang von Gefässen mit abrollbaren Fasern in poröse Gefässe bezeichnet, wie bekannt, zugleich das Aufhören des Längenwachsthums in dem Stengelinternodium, indem die jungen Gefässe, so lange das letztere sich streckt, zu Spiralgefässen, wenn die Streckung aufgehört hat, zu porösen Gefässen sich ausbilden.

Die ungeordnete Anlagerung der Markscheidenzellen im Gegensatz zu den reihenförmigen Holzzellen wird durch ein verschiedenes Verhalten des Dickenwachsthums bedingt. Ich will auf dasselbe etwas näher eintreten, da es gerade die Sapindaceen waren, welche mich darauf aufmerksam machten und zugleich auch deutliche und sichere Beweise dafür lieferten.

Das Gesetz heisst einfach, dass auf der innern Seite des Cambiumringes so lange ungeordnetes Dauergewebe gebildet wird, als die eingeschlossene Masse (das Mark) ihren Querschnitt noch beträchtlich vergrössert, und dass die reihenförmige Anordnung beginnt, sobald die Ausdehnung der eingeschlossenen Masse gering geworden ist, oder aufgehört hat. Denn davon hängt das Verhältniss ab zwischen der Menge der Zelltheilungen in tangentialer und in radialer Richtung. Dieses Verhältniss aber bedingt die Anordnung der Zellen. Wenn in einem Gewebe das Wachsthum in zwei zu einander rechtwinkligen Richtungen gleichgross ist, so mangelt jede Andeutung von Reihen, wie z. B. auf dem Querschnitte des Markes. Umgekehrt ergibt sich die vollständigste reihenförmige Anordnung, wenn nur in Einer Richtung Wachsthum und Wandbildung erfolgt. Beispiele hiefür geben uns der Holzring, wo die Zellen in radialen, und die ältere Rinde, wo dieselben in tangentialen Reihen liegen.

Dass die Holzzellen in radiale Reihen gestellt sind, ist die nothwendige Folge der vorhandenen Bedingungen. An der Oberfläche eines Cylinders, der sich nicht ausdehnt (nämlich des Holzringes) liegt ein bildungsfähiges Gewebe (Cambium), dessen innere Zellen fortwährend in Dauergewebe (Splint und Holz) übergehen. Die Cambiumzellen behalten während des ganzen Wachsthums annähernd die gleiche Breite (in tangentialer Richtung), und ebenso sind die aus ihnen hervorgehenden Holzzellen ziemlich gleich breit. Es müssen daher, abwechselnd mit den tangentialen Wänden, nur in dem Maasse radialsenkrechte Wände auftreten, als durch das nach aussen fortschreitende Wachsthum die Peripherie grösser wird. Die Holzzellen kommen somit in radiale Reihen zu liegen, welche nach aussen sich hin und wieder dichotomisch theilen. Es ist zum Voraus klar (und die Untersuchung von cylindrischen Organen bestätigt es), dass die Reihen um so augenfälliger sind, je weniger solche dichotomische Spaltungen statthaben, je mehr also die Cambiumzellen sich ausschliesslich durch tangentiale Wände theilten.

Durch Berechnung kann genau bestimmt werden, wie die Zahl der radialsenkrechten und die der tangentialen Theilungen bei einem bestimmten Durchmesser des cylindrischen Cambiummantels und bei einer bestimmten Grösse der Zellen sich zu einander verhalten. Es vermehre sich während einer bestimmten Zeit die Zahl der Holzzellen in radialer Richtung um n. Die neuen Zellen nehmen, wenn die Dicke jeder Zelle (in radialer Richtung) $= d$ gesetzt wird, auf dem Radius eine Länge $= n.d$ ein. Der Radius des Cambiumrings vor dieser Zellenbildung war R, sein Umfang $2 R \pi$; nach derselben beträgt der Radius des Cambiumringes $R + n.d$, der Umfang $2 (R + n.d) \pi$. Ist die Breite einer Zelle (in tangentialer Richtung) b, so befanden sich auf dem Umfange des Cambiumringes vor der Zellenbildung $\frac{2 R \pi}{b}$ Zellenreihen, nach derselben $\frac{2 (R + n.d) \pi.}{b}$ Ihre Zahl vermehrt sich von R auf $R + n.d$ oder von 1 auf $1 + \frac{n.d}{R}$. Wenn demnach die absolute Zunahme der Zellenzahl in radialer Richtung n beträgt, so ist die gesuchte relative Zunahme in tangentialer Richtung

$$x = \frac{n.d}{R}.$$

Ist z. B. $R = 1000d$, so is $x = \frac{n}{1000}$; mit Worten, wenn der Radius des Cambiumringes gleich kommt der Dicke von 1000 Holzzellen, so ist die relative Zunahme der Zellen in tangentialer Richtung 1000 mal geringer als die absolute in radialer.

Setzen wir die tangentiale Zunahme gleich der Einheit, und bestimmen wir darnach die radiale Zunahme, so ist $1 = \frac{n.d}{R}$ und

$$n = \frac{R}{d}$$

d. h. damit sich jede radiale Reihe einmal spalte und in zwei Reihen übergehe, müssen in radialer Richtung so viele neue Holzzellen sich bilden, als bereits auf dem Radius des Cambiumringes Platz haben. Eine gleichgrosse Zunahme in radialer und tangentialer Richtung, so dass auf jede innere Zelle zwei äussere kämen, fände nur dann statt, wenn der Zellendurchmesser gleich dem Radius wäre, also nur in der innersten Zellschicht. Wenn der Radius des Cambiumringes die Länge von 50 oder 100 oder 1000 Holzzellen hat, so müssen die radialen Reihen sich um 50 oder 100 oder 1000 Zellen verlängern, damit sie sich einmal verdoppeln.

In einem Stamme mit 2 Meter dickem Holzcylinder, dessen Mark durch gereihte Holzzellen ersetzt wäre, und dessen Holzzellen eine durchschnittliche Dicke von 30 Mik. haben, findet man von innen nach aussen folgende Verhältnisse:

Radius in Mik.	30	60	90	150	300	600	1000
Tangent. Zunahme	1	1	1	1	1	1	1
Rad. Zunahme	1	2	3	5	10	20	33

Radius in M.M.	1	5	10	50	100	500	1000
Tangent. Zunahme	1	1	1	1	1	1	1
Rad. Zunahme	33	166	333	1666	3333	16666	33333

Die erste Horizontalzeile enthält die willkürlich angenommenen Entfernungen vom Centrum des Stengels. Damit nun die relative tangentiale Zunahme 1 sei, damit sich die radialen Zellenreihen durchschnittlich einmal dichotomisch theilen, muss man, wenn die Zellen eine Dicke von 30 Mik. haben, an jedem Punkte um die in der dritten Horizontalzeile enthaltene Zellenzahl nach aussen fortschreiten. Von einer dichotomischen Theilung bis zur nächstfolgenden zählt man in einer Entfernung von 1 Meter vom Centrum durchschnittlich 33333 Zellen, in einer Entfernung von 10 MM. dagegen 333 Zellen etc. Da das Holz des jüngern Stammes nichts anderes ist, als die innere Partie des ältern Stammes, so gelten die obigen Zahlen für Stämme jeden Alters und jeder Dicke in der ganzen Ausdehnung ihres Holzcylinders, insofern dessen Zellen eine Dicke von 30 Mik. haben.

Ich habe jetzt den Fall betrachtet, in welchem das von dem Cambiumring eingeschlossene Gewebe sich nicht ausdehnt. Untersuchen wir nun denjenigen, wo der Cambiumring durch nachwachsendes Gewebe nach aussen geschoben wird. In Folge davon verlängere sich sein Radius während einer bestimmten Zeit von R auf $R + a$. Gleichzeitig vermehre sich die Zahl der Holzzellen in radialer Richtung um n. Dieselben nehmen, wenn die Dicke der einzelnen Zelle $= d$, eine Länge von $n.d$ ein, und der Radius des Cambiumringes vergrössert sich daher während dieser Zellenbildung von R auf $R + a + n.d$, der Umfang desselben von $2R\pi$ auf $2\pi\,(R + a + n.d)$, und die Zellenzahl auf dem Umfange von $\frac{2R\pi}{b}$ auf $\frac{2\pi\,(R + a + n.d)}{b}$, wenn b die Breite einer Zelle oder Zellenreihe bedeutet, oder was das Nämliche ist, von 1 auf $1 + \frac{a + n.d}{R}$. Wenn somit die Zellenzahl in radialer Richtung durch die Zellenbildung im Cambiumring eine absolute Zunahme $= n$ erfährt, so ist die gesuchte relative Zunahme in tangentialer Richtung

$$x = \frac{a + n.d}{R}.$$

Wenn die tangentiale Zunahme $= 1$ gesetzt wird, so haben wir $1 = \frac{a + n.d}{R}$ und für die radiale Zunahme

$$n = \frac{R - a}{d}$$

d. h. damit die radialen Reihen sich einmal verdoppeln, müssen sie um so viele Holzzellen sich verlängern, als auf dem Raume R—a Platz finden; R—a ist aber die Differenz zwischen dem frühern Radius des Cambiumrings und der Grösse, um welche letzterer während der radialen Zellenbildung und unabhängig von derselben durch die Ausdehnung der eingeschlossenen Gewebe nach aussen gedrängt wurde. — Wenn z. B. der Cambiumring in gleichem Maasse durch die Zunahme der eingeschlossenen Gewebe und durch seine eigene Zellenbildung sich ausdehnt, wenn also $a = n.d$, so wird $n = \frac{R}{2d}$; d. h. in der Zeit, während welcher die Zahl der radialen Reihen sich verdoppelt, werden von dem Cambiumring so viel Dauerzellen auf seiner innern Seite gebildet, als auf dem halben Radius derselben vor dieser Zellenbildung Platz hatten.

Es treten also im Cambiumring verhältnissmässig um so mehr radiale und um so weniger tangentiale Wände auf, je mehr derselbe durch das Wachsthum der eingeschlossenen Masse ausgedehnt wird. Dieser Umstand hat nun zwar keinen Einfluss auf die Zellenzahl, welche man auf den successiven concentrischen Kreisen findet, denn bei der vorausgesetzten gleichen Grösse der Zellen ist dieselbe proportional den Radien. Aber er bedingt sehr wesentlich die grössere oder geringere Deutlichkeit der radialen Reihen. Diese werden um so mehr verwischt, je zahlreicher die radialen Theilungen sind, wozu noch kommt, dass die passive Ausdehnung des Cambiumringes durch die zunehmende eingeschlossene Masse immer auch Verschiebung der einzelnen Zellen und somit die Störung einer regelmässigen Anordnung verursacht.

Mit dieser theoretischen Betrachtung stimmen die thatsächlichen Verhältnisse genau überein. Die Stammspitze besteht aus Urmeristem, dessen Zellen von ungefähr gleicher Grösse und ohne bestimmte Ordnung neben einander liegen. Die Längswände, die in demselben sich bilden, stellen sich auf dem Querschnitt als Linien dar, die nach allen Richtungen verlaufen. In diesem Urmeristem werden zuerst isolirte Cambiumstränge und bald nachher ein sie verbindender Cambiumring sichtbar. Derselbe hat bei seinem ersten Sichtbarwerden einen für die verschiedenen Species sehr ungleichen Durchmesser. Aber in allen Fällen ist sein Durchmesser so gross, dass, wenn das eingeschlossene Mark nicht mehr sich ausdehnte, das aus ihm hervorgehende Gewebe (Xylem) die schönste und deutlichste reihenförmige Anordnung zeigen müsste. Nun nimmt aber das Mark von dem Augenblicke an, wo der Cambiumring sichtbar wird, immer noch während längerer oder kürzerer Zeit zu, indem seine Zellen sich theilen und vergrössern. Dadurch wird der Cambiumring nach aussen gedrängt und bedeutend erweitert. Seine Zellen nehmen nun zwar im Allgemeinen eine etwas beträchtlichere Breite an; allein diess genügt der tangentialen Ausdehnung nur kurze Zeit und in geringem Maasse.

Bald werden sie durch die Erweiterung des Cambiumringes veranlasst, sich durch zahlreiche radialsenkrechte Wände zu theilen. Sie zeigen zugleich auch ein mehr oder weniger beträchtliches Wachsthum in radialer Richtung. Es wechseln demnach während dieser Entwickelungsperiode Wände, die auf dem Querschnitt radial und tangential gestellt sind, mit einander ab; und je nach der Form der sich nach allen Seiten ausdehnenden Zellen kommen daneben auch mehr oder weniger schiefe Wände vor. Eine reihenförmige Anordnung in irgend einer Richtung ist um so weniger das Resultat dieses Zellenbildungsprocesses, je mehr die Zellen in tangentialer und radialer Richtung gleich sehr wachsen und je mehr desswegen die Wände in diesen beiden Hauptrichtungen unter einander gleichmässig alterniren (ξ in IV, 1 und 2). Sowie aber die Ausdehnung des Markcylinders geringer wird, und desswegen in dem Cambiumring das radiale Wachsthum über das tangentiale entschieden die Oberhand gewinnt, so macht sich sogleich eine Andeutung zu radialen Reihen bemerkbar (ξ in IV, 3), und diese bilden sich vollkommen aus, sobald das eingeschlossene Gewebe sich nicht mehr oder nur sehr unbedeutend vergrössert (ξ in IV, 12). Die Markscheide, insofern sie durch das ungeordnete Gewebe des Xylems bezeichnet wird, ist von sehr ungleicher Mächtigkeit. Am dicksten fand ich sie in der Kartoffel, wo nicht nur das primäre Mark, sondern namentlich auch die Produkte des Cambiumringes sehr stark anwachsen, und dadurch den Cambiumring so sehr nach aussen drängen, dass es zu einer wirklichen reihenförmigen Anordnung fast gar nicht kommt. Ich verweise über das Nähere auf spätere Mittheilungen.

Der Cambiumring besteht also im ersten Stadium, welches längere oder kürzere Zeit andauern kann, aus ungeordneten Zellen. Nachher beginnt in demselben allmählich die radiale Anordnung und wird immer deutlicher. Das Gewebe, welches innerhalb des Cambiumringes liegt und aus demselben entsteht, verhält sich genau wie er selber. Aus dem ungeordneten Cambium bildet sich die ungeordnete Markscheide (ψ in IV, 2, 3 und VI, 12); aus dem reihenförmigen Cambium dagegen wird immer auch reihenförmiges Xylem.

Das Phloëm oder die Epenrinde (d. h. das von dem Cambiumring auf der äussern Seite gebildete Gewebe) zerfällt, wie das Xylem, in zwei oft sehr deutlich verschiedene Partieen. Den äussern, zuerst entstandenen Theil kann man, wie ich schon bemerkt habe, nach Analogie als Rindenscheide bezeichnen. Man beobachtet an derselben ähnliche Verhältnisse wie an der Markscheide. Die Beschaffenheit und Grösse der Parenchymzellen, die Anwesenheit von Bastfasern überhaupt oder von bestimmten Bastfasern, die Abwesenheit oder eigenthümliche Ausbildung der Siebröhren, endlich der Mangel einer reihenförmigen Anordnung zeichnet die äussere Epenrinde oder die Rindenscheide aus. Aber wenn schon die Markscheide nicht durch allgemein gültige Erscheinungen unterschieden werden kann, so ist dies noch in höherem Maasse von der Rindenscheide der Fall. Auch geben ihre verschiedenen Merkmale meist ungleiche Grenzen, indem sie verschieden weit nach innen reichen, und oft undeutliche Grenzen, indem sie allmählich übergehen.

Wie die Eigenthümlichkeiten der Markscheide, so hängen auch diejenigen der

Rindenscheide theils mit andern physiologischen Processen, theils mit allgemeinen Wachsthumverhältnissen zusammen.

Bei manchen Pflanzen entstehen blos in der Periode, in welcher ein Stengelinternodium noch in die Länge wächst, Bastfasern; bei andern zeichnet sich der Bast jener Periode vor dem später gebildeten durch die Länge der Fasern aus. Dasselbe ist mit den Siebröhren der Fall. Ebenso erzeugt das ungleiche Dickenwachsthum Verschiedenheiten des Gewebes auf dem Querschnitt, nämlich ein inneres Gewebe, dessen Zellen wenigstens zu einer bestimmten Zeit mehr oder weniger deutliche radiale Reihen bilden, und ein äusseres, dessen Zellen nie eine Spur davon zeigen. Der Gegensatz der beiden Gewebe in letzterer Beziehung muss aber in der Regel geringer sein als derjenige zwischen Markscheide und Holz, wie aus der theoretischen Betrachtung und der thatsächlichen Beobachtung sich ergiebt.

In der Markscheide ist die radiale Zunahme, wenn die tangentiale die Einheit beträgt, und die radiale Zunahme des Protenmarkes mit m bezeichnet wird, $n = \frac{R-m}{d}$; im Holze dagegen, bei dessen Bildung eine innere, ausdehnende Ursache mangelt, $n = \frac{R}{d}$. Die Rindenscheide wird zu gleicher Zeit mit der Markscheide angelegt; sie erfährt also nicht nur die nämliche Ausdehnung wie diese durch das Wachsthum des Markes, sondern auch noch eine Mehrausdehnung durch die Interposition der Markscheide selbst; später wird sie aber immer noch erweitert durch die Bildung des Holzes und der innern Epenrinde. Bezeichnen wir die Zunahme, welche der Radius der Rindenscheide durch das Mark und die Markscheide erfährt, mit $m + s$, diejenige durch das Holz mit h, und durch die innere Epenrinde mit r, so ist $n = \frac{R-m-s-h-r}{d}$. Für die Epenrinde innerhalb der Markscheide dagegen haben wir $n = \frac{R-h}{d}$, weil dieselbe, abgesehen von ihrer eigenen Zellenbildung, nur durch die Einlagerung des Holzes nach aussen geschoben wird.

Der Gegensatz in der Zellentheilung zwischen Markscheide und Holz wird durch das Verhältniss $R-m : R$, derjenige zwischen Rindenscheide und innerer Epenrinde durch das Verhältniss $R-m-s-h-r : R-h$ ausgedrückt. Das letztere ist um so grösser, je grösser $m + s$ und r und je kleiner h wird; es ist also bedeutend bei starkem Wachsthum des Markes und der Markscheide, bei geringer Holzbildung und beträchtlicher Bildung von innerer Epenrinde.

Zuerst ergiebt sich nun darin eine Analogie für Rindenscheide und Markscheide, dass beide gleichzeitig angelegt werden, zu der Zeit nämlich, wo der sich bildende Cambiumring durch die eingeschlossenen Gewebe die grösste Ausdehnung erfährt. Da die Zellen der Markscheide ungeordnet sind, so muss um so mehr jede Andeutung von radialen Reihen in der Rindenscheide mangeln, weil diese viel beträchtlicher ausgedehnt wird. Sie kann sogar in Folge dieses überwiegenden tangentialen Wachsthums mehr oder weniger den Anschein einer tangential-gereihten Anordnung annehmen.

Mit dem Moment, wo das Mark zu wachsen aufhört, fängt die Bildung des radial-gereihten Holzes und der radial-gereihten Epenrinde an. Die Bedingungen für beide Bildungen sind zuerst analog, aber doch nicht gleich. Im Holze, das keine Ausdehnung durch die eingeschlossenen Gewebe erfährt, ist die radiale Anordnung vollkommen und der Gegensatz im Vergleich mit der Markscheide in die Augen fallend. Zwischen innerer Epenrinde und Rindenscheide besteht ebenfalls eine bedeutende Differenz von Anfang an, weil die letztere durch die zunehmende Masse in ihrem Innern (Mark, Markscheide, Holz und innere Epenrinde) sehr stark, die erstere durch die Holzbildung viel weniger ausgedehnt wird. Aber die innere Epenrinde erleidet schon beim Entstehen eine Ausdehnung durch den sich vergrössernden Cambiumring, und daher treten je nach dem Einflusse dieser störenden Ursache die radialen Reihen nicht so augenfällig hervor.

Ein anderer Unterschied besteht darin, dass der Contrast zwischen Markscheide und Holz, der sich einmal ausgebildet hat, unverändert bleibt, während derjenige zwischen Rindenscheide und innerer Epenrinde sich mit der Zeit fortwährend vermindert. Wenn die Markscheide und das Holz gebildet sind, so verharren sie zeitlebens in dem nämlichen Zustande, indem ihre Zellen weder wachsen noch sich theilen. Die Rinde wird dagegen durch den sich erweiternden Cambiumring unaufhörlich ausgedehnt. Dem entsprechend wachsen ihre Zellen in tangentialer Richtung und theilen sich durch radiale Wände. Es ist einleuchtend, dass ihre Anordnung ebenfalls modificirt und das Verhältniss zwischen den einzelnen Partieen der Rinde geändert wird.

In der Protenrinde und der Rindenscheide, welche letztere aus dem ungeordneten Cambium entsteht, sind die Zellen von Anfang an ohne Ordnung. Durch das nachwachsende innere Gewebe fortwährend auf grössere Radien ausgespannt, theilen sie sich wiederholt und bilden zuletzt, wenn sie lange genug von der Peridermbildung verschont blieben, kürzere oder längere tangentiale Reihen. Die innere Epenrinde, welche aus dem reihenförmigen Cambium hervorgeht, zeigt wenigstens im Anfang eine Andeutung von radialen Reihen (vgl. z. B. V, 9, τ, während der Bast ϱ, die Rindenscheide σ und die Protenrinde μ völlig ungeordnet sind). Oft aber verschwindet diese Anordnung wieder in den ältern Partieen, so dass die Epenrinde unmittelbar innerhalb der Rindenscheide ohne Andeutung von Reihen oder selbst mit tangentialen Reihen erscheint, während sie unmittelbar ausserhalb des Cambiumrings radial-gereiht ist. Es kann auch in der nämlichen Rindenschicht die tangentiale Ausdehnung und die Zellenbildung sich ungleich vertheilen; es können die einen Stellen des Umfanges unverändert bleiben, die andern dafür um so mehr sich strecken. In jenen erhalten sich dann fortwährend die radialen Reihen, während in diesen eine tangentiale Anordnung an die Stelle der radialen tritt.

Die radialen Reihen der Epenrinde sind also dicht ausserhalb des Cambiumringes zu suchen. Ob sie hier und in welchem Grade sichtbar werden, hängt von der Stärke der Holz- und Rindenproduction ab. Sie müssen um so deutlilicher hervortreten, je weniger Holz und je mehr Epenrinde aus dem Cambiumring angelegt wird.

Die Resultate dieses Kapitels lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Die Anordnung der Zellen auf dem Querschnitte des Stengels wird nicht blos dadurch bestimmt, dass die einen Zellen sich theilen, die andern nicht, und dass die Zelltheilungen in bestimmten Richtungen erfolgen, sondern namentlich auch dadurch, dass die zellenbildenden Gewebe bald durch andere Partieen ausgedehnt werden, bald nicht. Diese Ausdehnung, wenn sie nicht bloss in Einer Richtung thätig ist und überdem in der Richtung mit der Zellenbildung zusammentrifft, hat immer das Bestreben, eine bestimmte durch die Theilung gegebene Regelmässigkeit in der Anordnung zu verwischen

2. Der Querschnitt eines cylindrischen Organs, der während und nach der Zellentheilung noch überall sich vergrössert, zeigt ein ungeordnetes Gewebe; diess gilt für das Mark und für die Protenrinde des Stengels. Das Gewebe, welches aus einem zellenbildenden Cylindermantel (Cambiumring) durch radiale und tangentiale Theilungen hervorgeht, ist ungeordnet, wenn es durch die Vergrösserung der eingeschlossenen Masse eine bemerkbare Ausdehnung erfährt, so die Markscheide und Rindenscheide. Wenn die Vergrösserung der eingeschlossenen Masse null ist, so stehen die Zellen genau in radialen Reihen, so im Holze. Ist sie gering, so macht sich die radial-gereihte Anordnung mehr oder weniger bemerkbar, so in der innern Epenrinde nach der Anlegung; durch die fortdauernde Ausdehnung wird aber früher oder später ein ungeordneter Zustand herbeigeführt. Da die Protenrinde, die Rindenscheide und die innere Epenrinde späterhin blos in tangentialer Richtung sich ausdehnen und durch radiale Wände ihre Zellen vermehren, so können nach und nach tangentiale Reihen auftreten.

3. Das von dem Cambiumring auf dessen äusseren Seite gebildete Gewebe scheidet sich, wie das auf der innern Seite, in zwei Haupttheile. Die Rindenscheide (analog der Markscheide) ist der äussere, zuerst entstehende Theil der Epenrinde. Sie wird zu einer Zeit angelegt, in welcher das Längenwachsthum noch nicht beendigt ist und in welcher der Cambiumring durch das anwachsende Mark und die sich bildende Markscheide beträchtlich ausgedehnt wird. Daher sind ihre Elementarorgane auf dem Längsschnitt länger und anders ausgebildet als diejenigen der innern Epenrinde. Daher sind ferner auf dem Querschnitt ihre Zellen von Anfang an ungeordnet, während diejenigen der innern Epenrinde in den ersten Stadien radialgereiht sind.

3. Entwickelungsgeschichte der Gewebe auf dem Querschnitt des Stengels der Sapindaceen.

Ehe ich in das Detail eintrete, schicke ich eine allgemeine Bemerkung voraus. Bei der Entwickelungsgeschichte von Geweben handelt es sich um die Anlegung derselben durch Zellentheilung und um die Ausbildung durch das Wachsthum der Zellen sowie durch die Veränderungen in ihrem Inhalte und ihrer Membran. Es kommt also darauf an zu bestimmen, wann ein Gewebe fertig angelegt und wann es ausgewachsen ist; und im Allgemeinen gilt rücksichtlich des Erstern die Antwort, dass die Anlegung vollzogen ist, wenn die Theilung der Zellen aufgehört hat. Dabei können sich die verschiedenen Richtungen ungleich verhalten; das Mark z. B. kann auf dem Querschnitt schon lange angelegt sein und auf dem Längsschnitt immer noch seine Zellen vermehren. *)

Berücksichtigen wir bloss den Querschnitt, so bieten uns die innerhalb und ausserhalb des Cambiumrings sich bildenden Gewebe eine bemerkenswerthe Verschiedenheit dar. Für die innerhalb liegenden gilt der Satz, dass sie mit dem Aufhören der Zellentheilung angelegt sind, ohne Beschränkung. Beim Mark lassen sich drei Perioden scharf trennen: 1) die der Anlegung, in welcher sich die Zellen noch theilen, 2) die des Wachsthums, in welcher die Zellen nicht an Zahl, wohl aber an Grösse zunehmen, 3) die des ausgewachsenen Zustandes, in welcher die Zellen ihre Grösse, Gestalt und Anordnung behalten, aber Membran und Inhalt verändern. Die Markscheide hat die gleichen drei Stadien, das zweite tritt aber schon mehr zurück. Beim Holz verschwindet das zweite Stadium beinahe gänzlich, weil die Zellen, in denen die Längstheilung aufgehört hat, in der Regel sich kaum bemerkbar ausdehnen.

Bei den ausserhalb des Cambiumringes liegenden Geweben wird der Moment, wo sie angelegt sind, nicht durch das Aufhören der Zellentheilung überhaupt (denn dieselbe dauert ja, so lange sie existiren), sondern durch das Aufhören einer bestimmten Zellentheilung bezeichnet. Während der Periode der Anlegung theilen sich die Zellen durch tangentiale und radiale Längswände, vorzüglich aber durch erstere. Späterhin treten bloss noch radiale Wände auf, und diese nur in dem Maasse, als die Cylindermäntel durch das Wachsthum der eingeschlossenen Gewebe ausgedehnt und ihre Zellen in tangentialer Richtung in die Breite gezogen werden. Wir können daher eine aktive und eine passive Zellentheilung unterscheiden, die erstere während der Periode der Anlegung, die zweite nach dieser Periode.

Wie mit der Zellenbildung verhält es sich auch mit dem Wachsthum dieser Gewebe. Dasselbe hört nie auf, ändert aber seinen Charakter. Wenn ein Gewebe angelegt ist, so dehnt es sich eine Zeit lang in allen Richtungen aus. Nachher aber findet die Ausdehnung nur noch in tangentialer Richtung statt und zwar nur so weit, als es die Zunahme der von dem Cylindermantel eingeschlossenen Masse verlangt. Wir können ersteres das aktive, und letzteres das passive Wachsthum nennen.

An den ausserhalb des Cambiumringes liegenden Geweben sind demnach drei Perioden zu unterscheiden: 1) die der Anlegung oder aktiven Zellentheilung, 2) die des aktiven Wachsthums und 3) die des passiven Wachsthums. Sie treten bei allen Schichten des Rindenparenchyms ziemlich charakteristisch auf, nament-

---

*) Ich spreche hier nur von der fertigen Anlage; ein Gewebe kann in seiner ersten Anlage oder ersten Andeutung schon lange vorher erkennbar sein.

lich bei der Protenrinde. Der Bast aber verhält sich wie das Holz. Nach der Anlegung findet keine Zellenbildung und nur ein geringes Wachsthum statt.

Ich will als Beispiel für die Entwickelungsgeschichte des Stengelquerschnittes zunächst eine Paullinia näher betrachten, welche durch den Mangel der besondern Holzringe sich an den gewöhnlichen Dicotyledonentypus anschliesst. Ein älterer, 4½ M.M. dicker Zweig zeigt uns das längst ausgewachsene Mark mit einem Durchmesser von 1,1 bis 1,2 M.M. und von 16—18 porösen, ziemlich dickwandigen Zellen (V, 11, ν). Die äusserste Schicht, die stellenweise auch doppelt ist, zeichnet sich durch grössere Helligkeit, durch weniger verdickte Wandungen und meist durch gelbe Färbung aus. Die innern Markzellen sind 100—120, die äussern 30—50 Mik. gross. Auf das Mark folgt die Markscheide (V, 11, ψ), bestehend aus dickwandigen, 20—30 Mik. grossen, ungeordneten Zellen, welche an den Kanten 11—12, an den Seiten 8—9 Schichten bilden. — Der Holzring (V, 11, ω), aus strahlig gereihten Holzzellen, porösen Gefässen und Markstrahlen zusammengesetzt, schliesst sich an den Seiten unmittelbar an die Markscheide an; stellenweise aber, vorzüglich innerhalb der Kanten, ist er von derselben durch die primitiven Gefässstränge getrennt, welche aus abrollbaren Gefässen und engen dünnwandigen Zellen bestehen, und deren Gewebe ebenfalls ungeordnet ist. An den Seiten ist der Holzring 0, 32—0, 4 M.M. dick. An den Kanten zeigt er Lücken, in welche 0,6 bis 0,7 M.M. dicke keilförmige Holzmassen eingeschoben sind (V, 11); letztere springen aussen 0,2 bis 0,3 M.M. über den Holzring vor und sind beiderseits von breiten Markstrahlen eingefasst. — Der Holzring sammt den Holzkeilen an den Kanten ist von dem Cambiumring, dessen Zellen gleichfalls in radialen Reihen stehen, umgeben (V, 11, ξ). — Dann folgt die radialgereihte Epenrinde, von Rindenstrahlen durchbrochen (r in V, 11 und 9). Sie hat an den Seiten eine Dicke von 0,55—0,7 MM., an den Kanten (ausserhalb der Holzkeile) von 0,23 bis 0,36 M.M. Diese ungleichdicke radialgereihte Rinde ebnet die Vorsprünge und Vertiefungen des Holzringes wieder fast ganz aus und reicht überall ziemlich gleichweit nach aussen. — Auf sie folgt die ungeordnete Epenrinde oder Rindenscheide (σ in V, 9 und 11), dieselbe ist an den Seiten im Mittel 0,2 M.M. dick und 9—10 Zellen stark; an den Ecken 0,13 M.M. dick und aus 5—7 Zellschichten bestehend, welche stellenweise deutliche, aber kurze, tangentiale Reihen bilden. — Der Bastring ist unterbrochen und besteht aus grössern und kleinern Strängen, welche an den Seiten 2—4 und 5, an den Kanten 8 bis 10 Zellen in der Dicke haben (ϱ in V, 9 und 11). — Die Protenrinde ausserhalb des Bastringes besteht, wenn die Epidermis nicht mitgezählt wird, an den Seiten aus 4—5, an den Ecken aus 9—12 Zellschichten (μ in V, 9 und 11).

Die Stengelspitze besteht in der ganzen Dicke aus einem Urmeristem von gleich grossen Zellen ohne Ordnung, die alle in Theilung begriffen sind. Zunächst scheidet sich dann ein Kreis von Cambiumsträngen aus, deren Zellen kleiner und ebenfalls ungeordnet sind. Jetzt hört die Theilung in den innersten Zellen auf und es tritt allmählich das Mark deutlich durch seine grünliche Färbung und seine grösseren 5- und 6eckigen Zellen hervor. Fast gleichzeitig oder ein wenig später zeigen auch die innerhalb der Epidermis liegenden Zellschichten eine grünliche Färbung und geben sich als Rinde zu erkennen. Zwischen Rinde und Mark befindet sich ein kleinmaschigeres Gewebe, ein Cambiumring, in welchen sich die ursprünglichen Stränge vereinigt haben. Zwischen Mark, Cambiumring und Rinde mangelt noch eine scharfe Begrenzung (IV, 5). Doch lässt sich die Ausdehnung dieser Gewebe meist bis auf Eine Zellschicht genau angeben. — Was das Mark betrifft, so beginnt das Aufhören der Zellentheilung auf dem Querschnitt im Centrum und schreitet nach aussen hin fort. Daher haben späterhin die innern Zellen desselben einen 2 bis 3mal grössern Durchmesser als die äussern (IV, 5). Auch die Chlorophyllbildung und die Bildung der Intercellulargänge fängt im Mittelpunkt an. Wir können also sagen, dass die Differenzirung des Markes aus dem Meristem von innen nach aussen hin fortschreitet. — Umgekehrt verhält es sich mit der Rinde. Hier ist es zuerst die Epidermis, welche sich von dem übrigen Meristem unterscheidet und dann folgt von aussen nach innen Zellschicht für Zellschicht (IV, 2, μ). Diese Rindenbildung charakterisirt sich, wie die des Markes, durch 3 Merkmale: die Zellen sind etwas grösser als die des übrigen Meristems, sie zeigen grünen Inhalt, und sie haben die aktive Theilungsfähigkeit verloren, indess die Markzellen überhaupt theilungsunfähig sind.

In dem 0,55 M.M. dicken Querschnitt unter der Spitze ist das Mark und die Rinde schon vollständig angelegt (IV, 4). Jenes hat im Mittel einen Durchmesser von 0,25 M.M. und von 16 bis 18 Zellen. Die Zellen im Centrum sind 20—24 Mik., diejenigen am Umfange 8—10 Mik. gross. Der radiale Durchmesser der Epidermiszellen beträgt 16, derjenige der 4 Schichten von Rindenzellen an einer Stengelseite zusammen 40 Mik., was auf die Zelle 10 Mik. macht. An den Stengelkanten befinden sich unter der Epidermis 8—10 Zellschichten ebenfalls mit 10 Mik. grossen Zellen. Die Zellen des Cambiumringes sind 6—8 Mik. gross.

Das Mark zeigt, wie schon gesagt, fernerhin auf dem Querschnitt keine Zellenbildung mehr; es dehnt sich bloss aus. Die Epidermis- und die Rindenzellen theilen sich von jetzt ab bloss durch radiale (nicht mehr durch tangentiale) Wände, indem sie der Zunahme des eingeschlossenen Gewebes theils durch Vergrösserung, theils durch Vermehrung genügen. Das Verhalten der Epidermiszellen und der innersten Protenrindenzellen (unmittelbar ausserhalb des Bastringes) ergibt sich aus folgenden Messungen.

Dicke des Internodiums in M.M. . .	0,55	0,9	1,8	2,5	4,8
Zahl der Epidermiszellen am ganzen Umfang	262	302	468	524	900
Breite derselben in Mik.	8	10	12	14	16,5
Zahl der innersten Protenrindenzellen am ganzen Umfang	211	234	335	363	483
Breite derselben in Mik.	9	11,5	15	19	30

Sobald das Mark und die Protenrinde angelegt sind, findet die Vermehrung der Zellschichten allein im Cambiumring statt. Anfänglich sind hier alle Zellen in Theilung begriffen. Dann sind es zuerst einzelne Zellen mitten im Gewebe, die sich in Dauerzellen umwandeln und zu Ring- und Spiralgefässen werden (IV, 1, k, s, t). Nachher fangen die äussersten und die innersten Zellen an, sich nicht mehr zu theilen und in Dauergewebe überzugehen (IV. 1. ϱ und ψ), indessen in einer mittleren Partie die Zellenbildung immer fortdauert (IV, 1, ξ). Von innen nach aussen bildet sich zuerst die Markscheide (ψ in IV, 2, 3 und V, 8), dann das Holz; von aussen nach innen der Bastring, dann die Epenrinde (ϱ und σ in IV, 2, 3 und V, 8).

Der Cambiumring und die aus ihm hervorgehenden Dauergewebe sind anfänglich ungeordnet. Erst in dem 1,4 oder 1,8 M.M. dicken Internodium beginnen innerhalb der Kanten im Cambiumring kurze radiale Reihen sichtbar zu werden (IV, 3, ξ). Untersuchen wir hier die Zunahme der Zellen, so finden wir von dem 0,55 M.M. dicken Querschnitt an, wo Rinde und Mark zum ersten Mal deutlich werden, folgende Zunahme:

Dicke des Internodiums in M.M. . . .	0,55	0,9	1,8
Radius des Markes in M.M. . . .	0,12	0,19	0,38
Mittlerer Radius des Cambiumrings in M.M.	0,125	0,20	0,40
Mittlere Umfangslänge desselben in M.M. .	0,75	1,50	3,46
Zahl der Cambiumzellen im ganzen Umfang	100	200	400
Zahl derselben in der Dicke an den Stengelkanten	15—17	24—26	41—43
Zahl derselben in der Dicke an den Stengelseiten	5—6	8—10	18—20

Während dieser Periode d. h. während der Stengeldurchmesser von 0,55 auf 1,8 M.M. zunimmt, wächst also der mittlere Radius des Cambiumringes fast auf das Fünffache, seine Zellenzahl im Umfang von 100 auf 400, seine Zellenzahl in der ganzen Dicke (zwischen Mark und Protenrinde) an den Kanten von 16 auf 42, an den Seiten von 6 auf 20. Indessen sind diese Verhältnisse zwischen der tangentialen und radialen Zunahme, insofern sie für das wirkliche Bildungsgewebe gelten sollen, nicht genau, weil bei der Berechnung der radialen Zunahme immer das ganze Gewebe zwischen Mark und Protenrinde, nicht bloss das in Theilung befindliche Cambium berücksichtigt wurde. Die richtige Behandlungsweise ist hier unausführbar, weil die Grenzen zwischen den innern und äussern Dauerzellen einerseits und den zwischenliegenden Bildungszellen anderseits lange undeutlich ist. Erst wenn der Bastring und die Markscheide hinlänglich unterscheidbar geworden sind, kann das zwischen ihnen befindliche Gewebe gemessen werden. In dem 0,9 M.M. dicken Internodium befinden sich an den Kanten zwischen den Gefässen und dem Bastring 6 Zellschichten, in dem 1,4 M.M. dicken Internodium befinden sich daselbst 13 und in dem 1,8 M.M. dicken Internodium 20 Zellen. Die Zellenzahl im Cambiumring nimmt daher an den Kanten in radialer Richtung von 7 auf 20 zu, indess sie in tangentialer Richtung am ganzen Umfang von 200 auf 400 sich vermehrt.

Indess auch dieses Verhältniss ist nicht genau, indem der berechnete Werth immer noch hinter der wirklichen Zunahme in radialer Richtung zurückbleibt. Denn es sind mit dem Cambium auch noch Dauerzellen der Epenrinde mitgezählt. Dazu kommt ein anderer wichtiger Umstand, welcher die Zunahme in tangentialer Richtung betrifft. Diese lässt sich allerdings für den ganzen Umfang ganz genau feststellen. Allein sie ist nicht überall gleich gross. An dem 0,9 M.M. dicken Querschnitt sind die Kanten äusserst stark ausgebildet; zwischen denselben befinden sich schmale spitze Rinnen, welche die Anfänge der künftigen Stengelseiten sind (IV, 6). Diese bilden sich nun mit dem Dickenwachsthum des Stengels mehr und mehr aus, indem die Ecken verhältnissmässig immer weniger vortreten. Das Stengelinternodium wächst also auf dem Querschnitt beträchtlich mehr an den Seiten als an den Ecken, und zwar sowohl in tangentialer als in radialer Richtung. Wenn daher der Cambiumring von dem 0,55 M.M. dicken bis zum 1,8 M.M. dicken Querschnitt von 100 auf 400 Zellen zunimmt, so sind daran die Stengelseiten weit mehr als die Kanten betheiligt.

Wir können daher mit Gewissheit sagen, dass während dieses Zeitraums in den Kanten die Cambiumzellen in tangentialer Richtung in einem viel geringern Verhältniss als von 200 auf 400, in radialer Richtung dagegen in einem beträchtlich stärkern Verhältniss als von 6 auf 20 Zellen zunehmen. Nach approximativer Schätzung mag dort die Zunahme etwa 50, hier 300—400 °/₀ betragen. Damit stimmt denn genau die Thatsache überein, dass in dem 1,8 und auch wohl schon in dem 1,4 M. M. dicken Internodium an den Kanten radiale Reihen von 3—6 Zellen im Cambiumring sichtbar werden (IV, 3, ξ). — An den Stengelseiten ist dagegen die tangentiale Zunahme im Cambium ebenso beträchtlich als die radiale, und von einer Anordnung in radiale Reihen durchaus noch nichts sichtbar (IV, 2, ξ).

Vergleichen wir das 1,8 M.M. dicke und das 2,5 M.M. dicke Internodium mit einander, so zählt man zwischen Markscheide und Bastring an den Stengelseiten des erstern 7 Zellen auf einen Raum von 0,06 M.M. Dicke, beim zweiten 14 Zellen auf einen Raum von 0,14 M.M., — zwischen den Gefässen und dem Bastring an den Kanten des erstern 20 Zellen auf eine Dicke 0,17 M.M., beim zweiten 24 Zellen auf 0,23 M.M.; — der Umfang des Cambiumringes beträgt im ersten Internodium 3,46 M.M. und enthält circa 400 Zellen, im zweiten 5,1 M.M. und etwa 444 Zellen.

In dem 1,8 M.M. grossen Internodium sind die Cambiumzellen an den Seiten noch ungeordnet; in dem 2,3 und 2,5 M.M. grossen Querschnitt bemerkt man daselbst kurze radiale Reihen von 3—5 Zellen (V, 8, ξ). Diess wird durch die Zellenbildung erklärlich. Im Umfang des Cambiumringes nimmt die ganze Zellenzahl bloss von 400 auf 444, also von 100 auf 111 zu. Die Zahl der Zellschichten zwischen Markscheide und Bastring wächst von 7 auf 14. Von jenen 7 gehören aber 4 schon der Epenrinde an und theilen sich nicht mehr durch tangentiale Wände, und nur 3 bilden den eigentlichen Cambiumring. In radialer Richtung theilen sich also 3 Cambiumzellen in 11 Zellen. Die Zunahme beträgt daher in tangentialer Richtung 11 °/₀, in radialer Richtung 267 °/₀; und das Verhältniss der radialen zur tangentialen Zunahme ist für die Zeiteinheit noch viel beträchtlicher als 267 : 11, weil die äusseren Zellschichten fortwährend in Epenrinde übergehen und nur ein Theil derselben im Zustande des Cambiums bleibt. Daher muss das letztere nothwendig eine radialgereihte Anordnung annehmen.

In dem 2,3—2,5 M.M. dicken Internodium sind noch alle Gewebe ungeordnet, mit Ausnahme des Cambiumringes, welcher an den Seiten 3—5, an den Kanten 8—12zählige radiale Reihen zeigt. Von diesem Stadium an bleiben nicht nur die Cambiumzellen fortwährend radialgereiht, sondern es behalten diese Anordnung auch alle aus denselben hervorgehenden Gewebe (Holz- und Epenrinde). Diess rührt von der anfänglich noch geringen, später mangelnden Ausdehnung des eingeschlossenen Gewebes her. Der äussere Umfang der Markscheide hat an dem 2,5 M.M. dicken Internodium einen durchschnittlichen Radius von 0,65 M.M., an dem 3,4 M.M. dicken Internodium einen solchen von 0,68 M.M., und dieser Radius bleibt für alle dickern Internodien der nämliche. Es nimmt daher im Cambiumring die Zellenzahl in radialer Richtung viel stärker zu, als in tangentialer.

Diese ungleiche Zunahme ergiebt sich aus der Vergleichung der Querschnitte von 2,5 M.M., von 2,9 M.M. und 3,4 M.M, Durchmesser. Die 3—5zähligen Cambiumzellenreihen an den Seiten des erstern haben sich im zweiten in 8—11 zählige (VI, 12, ξ), im dritten in 20—23zählige Reihen verwandelt, indess der Cambiumring im ersten einen Umfang von 5,1 M.M. und 444 Zellen, im zweiten von 6 M.M. und 490 Zellen, im dritten von 6,8 M.M. und 490 Zellen zeigte. Während die Zellenzahl in radialer Richtung um 450 %, zunimmt, vermehrt sie sich in tangentialer nur um 18 %. — An den Seiten des 3,4 M.M. dicken Internodiums befinden sich 8—9zählige radiale Reihen, welche dem Cambium und der radialgereihten Epenrinde angehören. Beide Gewebe sind nicht deutlich geschieden; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit für den Cambiumring 3—4 Zellen annehmen. Aus denselben sind in dem 4,7 M.M. dicken Internodium Reihen von 29—32 Zellen hervorgegangen, indess sich der Umfang des Cambiumrings von 6,8 M.M. und 523 Zellen auf 8,7 M.M. und 621 Zellen vergrösserte. Hier beträgt die Zunahme der Zellenzahl in radialer Richtung 771 %, in tangentialer nur 19 %.

Es ist daher begreiflich, dass die radialen Reihen im Cambiumring und im Holz immer deutlicher und schöner werden. Was die Epenrinde betrifft, so ist besonders hervorzuheben, dass auch in ihr die radiale Anordnung sehr augenfällig hervortritt. Es rührt diess von dem Umstande her, dass die Rindenbildung im Verhältniss zur Holzbildung beträchtlich ist, dass also nicht nur das gereihte Cambium in grosser Menge zu Rinde wird, sondern dass auch diese Rinde wegen der geringen Holzbildung nur eine geringe tangentiale Ausdehnung erfährt und wenig in ihrer radialen Anordnung gestört wird.

Diese Thatsachen gelten namentlich für die Stengelseiten. An den Ecken zeigt die Epenrinde in der Regel nur undeutliche radiale Reihen, was durch zwei Ursachen hervorgebracht wird: 1. Weichen die Zellenreihen im Cambium viel mehr auseinander (sie gehören einem geringern Krümmungsradius an) als an den Seiten, 2) ist die Rindenbildung absolut etwas geringer als die Holzbildung, während sie an den Seiten dieselbe übertrifft.

Ich habe bis jetzt die Zellenbildung auf dem Querschnitt mit Rücksicht auf die gereihte und ungereihte Anordnung der Gewebe betrachtet. Einige Bemerkungen mögen ferner die Folge und das Verhältniss betreffen, in welchen die verschiedenen Gewebsformen aus dem Urmeristem und dem Cambium sich ausscheiden. — In dem Urmeristem, das die Stengelspitze von Paullinia spec. in ihrer ganzen Dicke herstellt, wird zuerst die Epidermis gebildet. Diesen Namen muss nach meiner Ansicht die äusserste Zellschicht von dem Moment an erhalten, in welchem sie sich nicht mehr durch tangentiale Wände theilt, wie diess alle übrigen Zellen des Urmeristems noch eine Zeitlang thun. Hat diese Theilung aufgehört, so zeichnen sich die Epidermiszellen auch bald durch hellen Inhalt aus. An dem Querschnitt der Stammspitze, auf dessen kürzesten Durchmesser von 0,22 M.M. nicht mehr als 30 Zellen von 7 Mik. Grösse treffen, ist schon stellenweise die Oberhaut deutlich. Dieselbe bildet von jetzt an fortwährend eine einfache Schicht; aber sie vermehrt durch horizontale und radialsenkrechte Wände ihre Zellenzahl noch sehr bedeutend. — Darauf wird der Kreis von Cambiumsträngen sichtbar, die in Folge der überwiegenden Längstheilung ein kleinmaschiges Gewebe darstellen.

An dem Querschnitt treten nun 4 Erscheinungen fast gleichzeitig hervor: Protenrinde, Mark, die ersten Gefässe und die Vereinigung der Cambiumstränge in einen Ring. Das Mark muss als angelegt betrachtet werden, wenn sich keine Längswände mehr bilden, die Protenrinde, wenn keine tangentialen Längswände mehr entstehen. Ich habe diese Prozesse früher schon erörtert; ich bemerke hier bloss noch mit Rücksicht auf ihr gegenseitiges Verhältniss, dass zuerst die Bildung der Rinde an den Ecken beginnt. An einzelnen Kanten (nämlich an denjenigen, welche den Mittelnerven der beiden nächsten Blätter entsprechen) sind schon die grossen Zellen in dem Gewebe, das sich nachher zum Collenchym ausbildet, deutlich und die ausserhalb befindlichen Rindenzellen angelegt, wenn die Cambiumstränge noch nicht in einen Ring vereinigt sind, wenn das Mark wenig mehr als die Hälfte seiner Zellen besitzt, und, wenn erst in einer Kante die Gefässe deutlich sind. Die Rinde ist vollständig (an den Ecken und Seiten, dort mit 8—10, hier mit 4—5 Schichten) angelegt, der Cambiumring deutlich und die ersten Gefässe in allen Ecken, wenn auch noch nicht in allen Strängen, sichtbar, ehe das Mark vollständig angelegt ist. Ich habe schon früher gesagt, dass das letztere von innen nach aussen, die Rinde von aussen nach innen gebildet wird.

Aus dem Cambiumring, der inzwischen durch Zellentheilung sich stark verdickt hat, scheidet sich zunächst der Bastring, die ungeordnete Epenrinde (Rindenscheide), die Markscheide, und die Cambiformstränge innerhalb der Gefässe aus. Von diesen Partieen wird zuerst der Bast angelegt, und zwar früher in den Ecken als an den Seiten (IV, 1, ϱ). Er ist aber noch dünnwandig, cambiumähnlich und wird in seiner Begrenzung nach innen als kleinmaschiges Gewebe erst dann deutlich, wenn auch schon die äussersten Zellen der Epenrinde angelegt sind (IV, 3, ϱ). Die Zeit, in welcher die Markscheide angelegt ist, d. h. in welcher die Theilungen in ihr aufgehört haben, ist nicht sicher zu bestimmen, weil die Abgrenzung gegen Mark und Cambium noch lange undeutlich bleibt. Gewiss erfolgt sie erst nach der Bildung des Bastringes, wahrscheinlich ziemlich gleichzeitig mit der ungeordneten Epenrinde. Zuletzt entstehen die Cambiformstränge aus der Markscheide. Wenn in der letztern die Theilungen

Google

durch Längswände sonst überall aufgehört haben, so theilen sich noch die Zellen innerhalb der Gefässe und zum Theil auch zwischen denselben durch radiale und tangentiale Wände und bilden Stränge, welche deutlich durch das kleinmaschigere Gewebe und später durch die grüne Farbe unterschieden sind (IV, 3, bei g, p und q).

Ich glaube, dass diess ein ziemlich richtiges Bild von den ersten Differenzirungen im Gewebe der Stengelspitze von Paullinia spec. giebt. Es ist natürlich unmöglich, genau den Moment zu bezeichnen, in welchem ein bestimmtes Gewebe angelegt ist, d. h. in welchem bestimmte Zellentheilungen aufgehört haben. In der Regel müssen erst andere Erscheinungen, wie Veränderungen des Inhaltes und der Membran, eintreten, ehe man davon versichert sein kann. Dass die Gewebe angelegt sind, giebt sich bei den Sapindaceen gewöhnlich durch das Auftreten von Zellen mit dichtem, das Licht stark brechendem Inhalte kund, welcher sich bald braun färbt. Sie kommen in dem Marke und in der Protenrinde zerstreut vor, sowie auch in dem Gewebe, aus welchem der Bast sich entwickelt; in grösserer Menge treten sie in der Epenrinde und in der Markscheide auf. Durch dieselben lassen sich in einzelnen Fällen schon sehr früh die sich aus dem Urmeristem oder aus dem Cambium differenzirenden Gewebe erkennen.

Bei Serjania mexicana werden die mit dunklem Inhalt gefüllten Zellen in dem Cambiumring schon sichtbar und deuten die Epenrinde und die Markscheide an, wenn sie selber noch nicht grösser sind, als die wirklichen Cambiumzellen. Man bemerkt sie zuweilen fast zu gleicher Zeit mit den ersten Gefässen, oder doch kurze Zeit nach denselben. In dem sechseckigen Querschnitt durch eine Stengelspitze zeigten z. B. 5 Ecken je 1—3 Gefässe; 2 davon sowie die sechste, gefässlose Ecke hatten je eine mit dunklem Inhalt gefüllte Zelle in der Epenrinde; in der Markscheide befanden sich deren mehrere. Nachher erkennt man die Epenrinde durch diese zerstreuten dunkeln Zellen als einen vollständigen Ring zwischen dem Cambiumring und der Bastzone. Der Bast selber scheint bei Serjania mexicana erst angelegt zu werden, wenn die Epenrinde schon als Ring sichtbar ist; wenigstens treten in demselben die dunkeln Zellen erst später auf. Hier ist auch besonders deutlich, dass die Zellentheilungen in derjenigen Partie des Cambiums, welche zu Bast wird, lebhafter vor sich gehen, als in den Theilen, welche die Epenrinde und die Markscheide bilden, da das Gewebe dort deutlich kleinmaschiger wird. Die in dem jungen Bast zerstreuten Zellen mit dunklem Inhalt verhalten sich übrigens bei ihrer weitern Ausbildung nicht verschieden von allen andern; sie werden ebenfalls zu dickwandigen Fasern.

Wenn die Bastzellen bei Serjania mexicana anfangen, ihre Wandungen zu verdicken, so hat man auf dem Querschnitt von 2¹/₂ M.M. Dicke an den Seiten oder Furchen des Stengels folgende Gewebe: die Epidermis, 5—6 grüne und 1 farblose Schicht von Protenrindenzellen, 3 Schichten von Bastzellen, 3—5 Schichten von Epenrindenzellen, 5—7 Schichten von radialgereihten Cambiumzellen, 5—6 Schichten etwas dickwandiger Markscheidenzellen. Die Bastzellen sind am kleinsten, ihr Durchmesser beträgt 10 Mik.; die Cambiumzellen haben in radialer Richtung 10, in tangentialer Richtung 17 Mik.; die Epenrindenzellen sind 14 Mik., die Markscheidenzellen 17—23 Mik. gross; der Durchmesser der Protenrindenzellen beträgt 15—25 Mik. und der dünnwandigen Markzellen 45—90 Mik. Dieser Unterschied in der Zellengrösse der Protenrinde und des Markes rührt von zwei Ursachen her, 1) von dem Umstande, dass das aktive Wachsthum der Protenrindenzellen (in radialer Richtung) viel geringer ist als dasjenige der Markzellen, und 2) von der schon früher erwähnten Thatsache, dass in der Protenrinde, nachdem sie angelegt ist, die Theilungen durch radiale Wände in dem Maasse fortdauern, als es das passive tangentiale Wachsthum verlangt. Die Cambiformzellen, die sich innerhalb der in den Ecken liegenden Gefässbündel befinden, haben eine Grösse von 9 Mik.

Die Bildung des reihenförmigen Cambiums beginnt bei Paullinia spec. in den Ecken des Stengels ausserhalb der Gefässe zu einer Zeit, wo die Markscheide noch nicht fertig angelegt ist. An den Stengelseiten wird es erst sichtbar, wenn die Markscheide und die Cambiformstränge angelegt sind. Aus dem reihenförmigen Cambium wird nach innen das Holz, nach aussen die gereihte secundäre Rinde gebildet. An den Kanten ist die Holzbildung ziemlich mächtiger als die Rindenbildung, so dass in dem 4,7 M.M. dicken Internodium (V, 11) die Dicke des Holzes (bis zu den abrollbaren Gefässen) 0,57 bis 0,6 MM und im Mittel 36 Zellen, die der radialgereihten Rinde 0,22—0,27 M.M. und 13 Zellen beträgt. An den Seiten wird anfänglich ebenfalls eher mehr Holz als Rinde gebildet. Bald aber überwiegt die Bildung der letztern, so dass in dem 4,7 M.M. dicken Internodium der Holzring 0,3—0,37 M.M. und im Mittel 20 Zellen, die radialgereihte Rinde 0,54—0,6 M.M. und 27 Zellen dick ist. — Das stärkere Wachsthum des Holzes an den Kanten beschränkt sich auf die Partie des Cambiumringes, welche einem einzigen Gefässstrang angehört und veranlasst das Vorspringen von keilförmigen Holzstücken.

Ich erwähne hier noch einer Erscheinung, die zwar auch bei den andern Laubhölzern vorkommt, aber gerade sehr deutlich und charakteristisch bei einigen Sapindaceen sich zeigte. Der Holzring ist scharf von dem Cambiumring geschieden; je die innersten Zellen des dünnwandigen Cambiums bilden sich rasch zu dickwandigen Holzzellen aus. Die porösen Gefässe aber treten fast mitten im Cambiumring isolirt auf, durch 2, 3, 4 cambiumähnliche Zellen (die sich nicht mehr theilen) von den äussersten Holzzellen getrennt. Innerhalb dieser isolirten Gefässe, sowie seitlich und ausserhalb von denselben tritt dann die Verholzung etwas rascher ein, so dass sie sich kurze Zeit nach ihrem Sichtbarwerden in kleinen Vorsprüngen des Holzringes befinden. — Es ist diess nichts anderes als die allgemeine Erscheinung, dass die Gefässzellen ihre Wandungen rascher verdicken als die umgebenden Zellen. So werden in dem ungereihten Cambium die Ring- und Spiralgefässe sichtbar, lange bevor die nächstliegenden Zellen sich ausbilden. Bemerkenswerth ist, dass, wie die vorhin angeführte Thatsache zeigt, in dem gereihten Cambium die vorauseilenden Gefässzellen auch die benachbarten Holzzellen zu einer rascheren Entwickelung veranlassen.

Google

Nachdem ich eine Sapindacee, die dem gewöhnlichen Dicotyledonentypus angehört, weitläufiger betrachtet habe, kann ich mich für diejenigen, welche ausser dem allgemeinen noch äussere besondere Holzringe besitzen, kürzer fassen. Es sind hier im Wesentlichen die nämlichen Erscheinungen, modifizirt durch die genannten eigenthümlichen Verhältnisse.

Bei Serjania caracassana *Willd.* zeigt uns der Querschnitt durch die äusserste Stammspitze ein gleichförmiges Urmeristem, deren Zellengrösse ungefähr 8 Mik. beträgt. Unmittelbar darauf, bei einer Dicke von 0,3—0,4 M.M. findet man in dem Meristem einen Kreis von 6 (5—7) Cambiumsträngen, jenes mit 10 Mik. grossen, diese mit zarten, 5 Mik. grossen Zellen (X, 1, 2). Die Cambiumstränge, welche den Ecken des Stengels und den besondern Holzringen entsprechen, wachsen sehr stark an und verbinden sich durch schmälere Cambiumbänder, die den Stengelseiten entsprechen, zu einem Ring. In den dicken, innerhalb der Ecken befindlichen Cambiummassen gehen nun die Veränderungen vor, die ich früher schon geschildert habe. Es werden nämlich zuerst einige Gefässe sichtbar (X, 3, 6); dann gehen die neben und einwärts von denselben liegenden Cambiumzellen in Dauergewebe über; es ist das Mark des künftigen besondern Holzringes (X, 6, f; 7, ι), während jene Gefässe den Anfang seiner nach der Peripherie gekehrten Gefässstränge darstellen. Gleichzeitig hört die Zellenbildung in den äussersten Zellen des ganzen Cambiumringes auf, und es wird dadurch der Bastring angelegt (ϱ in X, 6 und 7). Das an die Gefässe sich anschliessende Dauerparenchym (ι) bildet einen mit der Oberfläche parallel laufenden Streifen, der beiderseits frei endigt, und die Cambiummasse in den Ecken in eine äussere und eine innere Partie (ξ und π) trennt. Etwas später scheidet sich in der innern Partie (6, π) ein mit dem ersten paralleler Streifen von Dauergewebe aus (χ in Fig. 7 und 8), welcher sich rechts und links neben der Kante an die innerhalb des Bastringes liegende Epenrinde anschliesst. Dadurch ist nun die Cambiummasse, wenn wir den durch die Mitte einer Ecke gehenden Radius betrachten, in 3 Theile geschieden, von denen die beiden äussern (π und ξ in X, 5 und 8) zusammen den flachgedrückten Cambiumring bilden, aus dem der besondere Holzring entsteht, und der innere (φ) dem Cambiumring angehört, welcher den allgemeinen Holzring erzeugt. Gleichzeitig mit dieser Spaltung der innern Cambiumlamelle oder unmittelbar nach derselben werden an ihrer äussern Seite einzelne Gefässe sichtbar, welche der Anfang der nach der Stengelmitte gekehrten Gefässbündel des besondern Holzringes sind (X, 8, g).

Die Scheidung der Gewebe giebt sich auch hier, wie ich es für die Sapindaceen mit einfachem Holzring erwähnt, zuerst durch das Auftreten von Zellen mit dichtem, sich leicht braunfärbendem Inhalte kund. Ihre Anwesenheit zeigt an, dass die aktive Zellentheilung aufgehört hat; dort nimmt die Zahl der Zellen von jetzt an in radialer Richtung nicht mehr zu. Man sieht diese Zellen in Fig. 3—8 auf Taf. X. In Fig. 6 ist erst eine einzige zwischen ξ und ϱ bemerkbar, und giebt kund, dass der Bast angelegt ist. In Fig. 7 χ deuten sie ebenfalls den Uebergang des Cambiums in Dauergewebe und die Trennung desselben in zwei Cambiumlamellen π und φ an.

Bis jetzt zeigen alle Gewebe des Stengels ungeordnete Zellen. Das Mark dehnte sich immer noch beträchtlich aus, und veranlasste eine entsprechende Erweiterung der Cambiumschichten, in welchen desswegen, ausser den tangentialen, auch zahlreiche radiale Wände sich bildeten. Wenn es beinahe ausgewachsen ist, so beginnt das Cambium Reihen zu bilden, und zwar überall, sowohl in den besondern als in dem allgemeinen Ring. Was den allgemeinen Cambiumring betrifft, ist diess von vornherein begreiflich, weil derselbe sich wie der einzige des gewöhnlichen Dicotyledonenstengels verhält. Was die besondern Cambiumringe betrifft, so ist es ebenfalls sogleich einleuchtend, sobald wir die Verhältnisse näher in's Auge fassen. Diese besondern Ringe sind, wie ich schon sagte, in radialer Richtung mehr oder weniger zusammengedrückt, also zum Theil mit dem allgemeinen Cambiumring parallel. Eine Flächenausdehnung des letztern in Folge des Wachsthums des Markes hat daher auch eine Flächenausdehnung der besondern Ringe (weil diese mit dem umgebenden Gewebe fest verbunden sind) und somit eine vermehrte Theilung durch radiale Wände zur Folge. Diese Wirkung wird, zwar nur in geringem Maasse und nur in den frühesten Zuständen durch die geringe Ausdehnung des eigenen (besondern) Markes unterstützt. Weiterhin verhält sich der besondere Cambiumring wie ein gewöhnlicher; sein eigenes Mark erfährt keine Ausdehnung, und es müssen daher nothwendig die neu sich bildenden Zellen eine radialgereihte Anordnung annehmen, wie das in jeder zellenbildenden ringförmig-geschlossenen Schicht der Fall ist. Durch das Anwachsen des allgemeinen Cambiumringes sammt seinem Holz und seiner Epenrinde wird der besondere Cambiumring, wie der Bast und die Protenrinde, nach aussen geschoben. Der besondere Cambiumring nimmt einen Theil vom Umfange des allgemeinen ein, und die Verhältnisse werden nicht gestört, wenn sein Durchmesser wie ein entsprechender Bogen des letztern sich ausdehnt. Da der Umfang eines Kreises im gleichen Verhältniss wie sein Radius oder sein Durchmesser zunimmt, so folgt daraus, dass das Gleichgewicht nicht gestört wird, und dass allgemeiner und besonderer Cambiumring einander in ihrem Wachsthum nicht beeinträchtigen, wenn beide ungefähr in gleichem Maasse Zellen bilden. Diess ist in der That der Fall, und es können daher die veschiedenen Cambiumringe mit Rücksicht auf die Anordnung der Zellen, ihren eigenen Gesetzen folgen. Dem entsprechend finden wir die Zellen der Protenrinde, des Protenmarkes, der Markscheide im allgemeinen Holzring, des Epenmarkes in den besonderen Holzringen, des Bastringes und der Rindenscheide (der zuerst gebildeten Epenrinde) ungeordnet, dagegen die Zellen des Holzes im allgemeinen und in den besondern Holzringen radialgereiht; ebenso zeigt die Epenrinde innerhalb der zur Rindenscheide gehörenden Gewebe bald mehr bald weniger deutliche Reihen, welche in der Richtung je nach ihrem Ursprunge mit den Radien des allgemeinen oder der besonderen Ringe zusammentreffen.

Bei den mit dem gewöhnlichen Typus des Dicotyledonenstammes übereinstimmenden Sapindaceen erfolgt die Anlegung der Gewebe innerhalb des Cambiumringes (Protenmark, Markscheide, Holz) von innen nach aussen, ausserhalb desselben (Epidermis, Protenrinde, Bast, Rindenscheide, Epenrinde) von aussen nach innen. Die Zellenbildung concentrirt sich immer mehr auf eine ringförmige Zone (den Cambiumring), und hat daselbst, wenn auch nicht ihren ausschliesslichen Sitz, doch ihr bei Weitem überwiegendes Maximum. Im Anfange ist die Zellenbildung auf dem ganzen Querschnitt überall gleich lebhaft. Nachher ist sie in einem ziemlich breiten Cambiumring lebhafter als in Mark und Rinde. Später hat sie in den innern Geweben ganz aufgehört und in den äussern dauern nur passive Theilungen durch radiale Wände (um der Ausdehnung des Cambiumringes zu genügen) noch längere Zeit an, bis auch hier (von aussen nach innen fortschreitend) das Leben ganz erstirbt; die Theilung durch tangentiale Wände aber beschränkt sich auf den Cambiumring, und hier ist es wieder auf jedem Radius eine mittlere Zelle, wo die Zellenbildung weitaus am lebhaftesten vor sich geht.

Bei den Sapindaceen mit besonderen Cambiumringen sind die Verhältnisse zwar ähnlich, aber durch die gegebenen Eigenthümlichkeiten modificirt. Protenrinde und Protenmark verhalten sich wie gewöhnlich; sie werden aus dem Urmeristem jene von aussen nach innen, dieses von innen nach aussen angelegt. In dem Cambiumring treten complicirtere Erscheinungen auf. Wie ich sagte, theilt sich die Cambiummasse innerhalb einer Ecke durch Zwischenlagerung von Gefässen und Parenchym zuerst in 2 Theile. Die äussere derselben zeigt eine Zeit lang eine lebhaftere Vermehrung, und in Folge derselben kleinere Zellen; sie sind im Mittel 5 Mik. gross (X, 6, ξ), indess sie im innern Theil 7 Mik. Grösse haben und mehr (π). — Dann wird die Zellenbildung in der innern Cambiumpartie lebhafter. Wenn z. B. in einem frühern Stadium zwischen dem ersten Gefäss und der Protenrinde 12—13 Zellen, zwischen demselben und dem Protenmark 8—9 Zellen sich befinden, so zählt man später dort 17, hier 15; die Zunahme beträgt dort 36, hier 76 % In einem noch spätern Stadium ist die Zellenzahl zwischen dem ersten Gefäss und der Protenrinde auf 21, zwischen demselben und dem Protenmark auf 25—26 Zellen gestiegen, was dort eine fernere Zunahme von 24, hier eine solche von 70 % ergibt. — Die zwei Lamellen, in welche sich die innere Cambiumpartie nachher theilt (π und φ in X, 7 und 8), lassen die gleichen Wahrnehmungen machen. Zuerst ist die Zellenvermehrung in der äussern Lamelle lebhafter, später in der innern.

Das Maximum der Zellenvermehrung schreitet also in der ganzen Cambiummasse, welche innerhalb einer Kante liegt, von aussen nach innen fort. Es ist diess eine Erscheinung, welche auch dem Sapindaceenstengel mit einfachem Holzring nicht mangelt, obgleich sie dort nicht so anschaulich sich nachweisen lässt. Das Maximum der Zellenbildung befindet sich dort nämlich zuerst in dem äussern Theil des einzigen Cambiumringes, wo der Bast angelegt wird, nachher in der Nähe der Gefässe, wo die Cambiformstränge und später das gereihte Cambium auftreten. — In dem Sapindaceenstengel mit besondern Holzringen hat das periodisch gesteigerte Wachsthum in jeder der drei auf einem Radius hinter einander liegenden Cambiumlamellen häufig eine gleiche schliessliche Wirkung, so dass späterhin die drei daraus hervorgegangenen Holzlagen die gleiche Mächtigkeit haben. Zuweilen ist die Gesammtproduktion der mittleren Lamelle d. h. des einwärts gekehrten Theiles des besondern Cambiumrings (π in IX, 11 und X, 8) grösser und das aus demselben entstehende Holz zuletzt mächtiger als der innere (allgemeine) Holzring und als die äussere Seite des besondern. Meistens aber dauert die lebhaftere Zellenbildung in dem allgemeinen Cambiumring am längsten, so dass der allgemeine Holzring, obgleich anfänglich bedeutend hinter den besondern Holzringen zurückstehend, dieselben schliesslich übertrifft.

Die besondern Holzringe sind anfänglich eingebettet in das Gewebe der Kanten, welche nicht mehr als am Stengel von gewöhlichem Dicotyledonenbau vorspringen (VI, 17; IX, 11). Sie sind umgeben von der zuerst gebildeten Epenrinde (Rindenscheide, $\sigma - \chi$ in IX, 11), und bedeckt von dem Bastring (ϱ) und der Protenrinde (μ). Da diese bedeckenden Rindengewebe nur kurze Zeit ein aktives Wachsthum besitzen, so werden sie später durch die zunehmenden innern Theile ausgespannt, wie eine Haut, die sich ausdehnen aber nicht dicker werden kann. Je mehr ein besonderer Holzring anwächst, desto mehr gliedert sich sein Körper von dem allgemeinen Holzring ab, und desto mehr gewinnt es den Anschein, als ob ein Ast hier mit dem Stengel verwachsen wäre.

Ich habe bis jetzt die Ausbildung des Querschnittes rücksichtlich der Form, Anordnung und Entstehungsfolge der Zellen und der ganzen Gewebe betrachtet. Ich will noch Weniges über den Charakter der Gewebe, wie er aus den Quer- und Längsschnitten sich ergiebt, beifügen. Das fertige Protenmark besteht aus isodiametrischen oder etwas verlängerten Zellen, die oft dickwandig und porös, oft mit Stärke gefüllt sind, und von innen nach aussen an Grösse abnehmen (IV, 5). Es grenzt sich zuweilen, sowohl auf dem Quer- als Längsschnitt, scharf von der Markscheide ab (V, 11); zuweilen findet ein ziemlich allmählicher Uebergang statt. — Die Markscheide besteht manchmal aus langgestreckten dickwandigen Parenchymzellen; wenn ihre Zellen dünnere Wände haben und den Markzellen gleichen, so findet man zwischen denselben Stränge von schmälern und dickwandigeren Zellen. Diese Stränge verlaufen der Länge nach und bilden meistens einen Kreis in geringer Entfernung von der innern Grenze des Holzringes. Da Markscheide und Protenmark hier eine unterschiedslose Masse bilden, so scheinen sie im Marke zu liegen. Nach Analogie mit andern Pflanzen*) ist es jedoch wahrscheinlich, dass sie dem innersten Theil der Markscheide angehören und somit die Grenze derselben andeuten. Es ist diess um so annehmbarer, als die Markscheide auf diese Weise gerade die Mächtigkeit erhält wie in andern Stengeln, wo sie durch die Beschaffenheit ihres ganzen Gewebes deutlich begrenzt ist. Die genannten Stränge bestehen zuweilen bloss aus mehreren, ohne Ordnung neben einander liegenden engeren Zellen mit dickeren Wandungen (VI, 15). Zuweilen indessen umgeben solche Zellen eine weitere Zelle und sind strahlenförmig um dieselbe angeordnet (VI, 16); namentlich zeigen sich die radialen Reihen auf der dem Holzring zugekehrten Seite deutlich (e). Es können zwei Stränge in einem einzigen verschmolzen sein. Die beiden weiten Zellen sind dann einander genähert, bloss durch eine einfache Schicht kleinerer Zellen getrennt, und bilden zusammen das Centrum der strahlenförmigen Anordnung. Die weite centrale Zelle des Stranges ist mit dunklem körnigem Inhalte gefüllt; durch Kochen in verdünnter Aetzkalilösung oder Salzsäure zieht sich derselbe zu grössern und kleinern schleimigen, durch zahlreiche Vacuolen unterbrochene Massen zusammen. Da die Siebröhren in einigen Pflanzen (z. B. in Cucurbita) einen ähnlichen Inhalt haben, so sind vielleicht auch die in Frage stehenden Zellen der Sapindaceen so zu deuten. Dieselben haben wie die schmalen umgebenden Zellen gerade Enden und ungefähr die Länge der übrigen Markscheidezellen. — Das Mark der besondern Holzringe stimmt ganz mit dem Gewebe der Markscheide des allgemeinen Holzringes überein. Doch mangeln darin die vorhin beschriebenen Stränge von engeren dickwandigen Zellen oder sind weniger deutlich von den übrigen Zellen geschieden.

---

*) z. B. mit Solanum, wo ebenfalls im innersten Theil der Markscheide (des Epenmarkes) solche Stränge vorkommen und die Grenze zwischen derselben und dem Protenmark bilden.

Die Holzringe (sowohl der allgemeine als die besondern) bestehen aus prosenchymatischen Holzzellen, die in radiale Reihen geordnet sind, aus zahlreichen und weiten porösen Gefässen und aus Markstrahlen. Die Gefässe sind zuweilen mit Thyllen angefüllt, die sich durch dicke Membranen mit schönen elliptischen oder spaltenförmigen Poren auszeichnen. Die primitiven Gefässstränge (bestehend aus Spiral- und Ringgefässen) springen auf der inneren Fläche des Holzringes vor. Auf dieselben folgt zuweilen nach innen ein Strang von dünnwandigen, engen, langgestreckten Zellen; die äussern derselben liegen zwischen den Gefässen selbst. Ich habe diese Zellen, weil ihnen der Charakter eines ausgebildeten Gewebes mangelt, als Cambiform bezeichnet. Nachdem das Mark und die Markscheide ihre anfängliche schwach grünliche Farbe verloren haben, zeichnet es sich noch durch eine intensivere grüne Färbung aus.

Die Protenrinde sammt der Epidermis besteht aus ziemlich isodiametrischen grünen Parenchymzellen. An den Ecken ist dieses Gewebe häufig fast ganz durch Collenchym verdrängt (IV, 5; V, 10; IX, 11, μ). Auf die Epidermis folgen mehrere Schichten von Collenchymzellen, und dann noch ein Paar Zellschichten, die mit den innersten Protenrindenzellen übereinstimmen. In dem jungen Collenchym (noch ehe dasselbe seine Wandungen zu verdicken angefangen hat) zeichnen sich einige grosse Zellen aus; sie liegen zu 3—6 in einer Ecke, in einer mit der Oberfläche parallelen Reihe (V, 10; IV, 5, 1, 3). Anfänglich gleichen sie Kanälen mit ölartigem Inhalte; später sieht man deutlich ihre eigenen Wandungen. Im ausgewachsenen Zustande sind sie wenig mehr von den übrigen Zellen verschieden. — Diese Zellen werden sehr früh sichtbar; bei Paullinia spec. sind sie schon in den Ecken eines Querschnittes der Stammspitze vorhanden, dessen Mark erst 10 Zellen im Durchmesser zeigt und somit noch nicht ganz angelegt ist, und dessen Cambiumstränge noch nicht in einen Ring sich vereinigt haben.

Innerhalb der Protenrinde liegt der Bastring, anfänglich ununterbrochen, später durch das Wachsthum der eingeschlossenen Masse in viele Bündel zerrissen. Von der Fläche gesehen, stellt er jetzt ein Netz mit langen Maschen dar. Die auf den Bastring folgende äussere Epenrinde (Rindenscheide) besteht aus ziemlich isodiametrischen Parenchymzellen. Im jüngeren Zustande unterscheidet man darin deutlicher als später Stränge von längern und engern Zellen. Bei einigen Arten finden sich darin auch einzelne Bastfasern, die indess viel kürzer sind, als diejenigen des Bastringes. Die Rindenscheide, die in den jüngeren Zuständen von der Protenrinde durch den Bastring geschieden ist, tritt später durch die Lücken des letztern mit derselben in Berührung (IX, 11; V, 9, 11.). Die Lücken des Bastringes füllen sich also mit kurzen parenchymatischen Zellen, welche theilweise sehr dickwandig werden und auf dem Querschnitt den Bastfasern selbst ganz ähnlich sind. Zuweilen bilden sich auch in geringer Entfernung innerhalb des Bastes noch ein oder zwei Ringe von dickwandigen Parenchymzellen. Offenbar geht daraus hervor, dass die Stelle, wo sich der Bast bildet, für die Verdickung der Zellwandungen überhaupt sehr geneigt ist. — In den Stengeln mit besondern Holzcylindern findet sich auch zwischen den letztern und dem allgemeinen Holzcylinder ein Streifen von Epenrinde, welcher mit der Rindenscheide übereinstimmt und sich jederseits an dieselbe ansetzt.

Die innere Epenrinde, welche an dem allgemeinen sowie an den besondern Holzringen zwischen dem Cambium und der Rindenscheide liegt, unterscheidet sich von der letztern, ausser der mehr oder weniger deutlichen reihenförmigen Anordnung, durch die sie durchziehenden Rindenstrahlen (Fortsetzung der Markstrahlen), welche meistens sichtbar sind und zum Theil aus Zellen mit verdickten Wandungen bestehen, und durch die mehr langgestreckten Zellen. Zuweilen haben alle Zellen wenig verdickte Wandungen; zuweilen sind die einen sehr dickwandig. Das Gewebe, welches die besondern Holzringe von einander und vom allgemeinen Ringe trennt, ist zuweilen von zwei Streifen dickwandiger Parenchymzellen durchzogen (VI, 17).

Die Resultate dieses Kapitels sind kurz zusammengefasst folgende:

1. In dem Sapindaceenstengel ohne besondere Holzringe erfolgt die Gewebebildung wie in den gewöhnlichen Dicotyledonenstengeln. Anfänglich ist die Zellentheilung auf dem ganzen Querschnitt thätig; das Aufhören derselben beginnt im Centrum und schreitet ringsum nach aussen, wodurch das Mark angelegt wird. Gleichzeitig beginnt das Aufhören der tangentialen Theilungen an der Peripherie und setzt sich nach innen fort, wodurch die Epidermis und dann die Protenrinde angelegt wird.

2. Eine lebhaftere Zellentheilung in einer mittleren Zone erzeugt den Cambiumring, von welchem je die innersten Zellen in Dauergewebe übergehen, um die ungeordnete Markscheide und das gereihte Holz zu bilden, und von welchem je die äussersten aufhören sich tangential zu theilen, um die ungeordnete Rindenscheide und die gereihte innere Epenrinde darzustellen. Einige Abweichungen von dieser sonst streng centrifugalen und centripetalen Bewegung treten in der Markscheide und in der Rindenscheide auf. In jener werden die Gefässe zuerst angelegt und zu einer Zeit, in welcher auch die mehr central gelegenen Partieen des Cambiumringes noch in Zellentheilung begriffen sind. Die

Zellen, welche zunächst neben den Gefässgruppen, namentlich auf der inneren Seite derselben sich befinden, theilen sich noch einige Zeit, wenn die Vermehrung der nämlichen und auch der äussern Kreiszone aufgehört hat, und bilden die kleinmaschigen Cambiformstränge. Die äussere Zone der Rindenscheide wird von dem Bastring gebildet, in welchem ebenfalls die Zellentheilung etwas länger andauert als in der innern Zone.

3. Das Wachsthum ist nur in dem allerfrühsten Zustande auf den verschiedenen Radien des Querschnittes gleich. Bald überwiegt das Dickenwachsthum in einzelnen Richtungen, welche sich schon zu der Zeit, in welcher das Mark und die Protenrinde angelegt werden, zu vorspringenden Ecken ausbilden. Während die Markscheide und die Rindenscheide aus dem Cambiumring heraustreten, beginnt eine sehr lebhafte tangentiale Zunahme in den zwischen den Ecken befindlichen Einkerbungen, welche dadurch zu den Stengelseiten sich ausdehnen. Wegen dieses localen überwiegenden tangentialen Wachsthums werden die radialen Reihen des Holzes an den Stengelseiten spater sichtbar als an den Kanten.

4. Bei den Sapindaceen mit abnormalem Bau ist auf dem Radius, wo sich spater ein besonderer Holzring ausserhalb des allgemeinen befindet, nach Anlegung des Markes und der Protenrinde der Cambiumring verdickt. Von demselben trennt sich durch Zwischenlagerung von Dauergewebe zuerst eine aussere Lamelle ab; nachher zerfallt auch seine innere Partie auf gleiche Art in zwei Lamellen. Von diesen drei Cambiumlamellen, von denen die beiden aussern den besondern Ring darstellen, zeigt zuerst die äussere, dann die mittlere, zuletzt die innere eine Zeitlang die lebhafteste Zelltheilung.

5. Die besondern Cambiumringe bilden, wie der allgemeine, an dem ganzen, mit Rücksicht auf ihr eigenes Centrum aussern Umfange zuerst Rindenscheide, dann innere Epenrinde, an ihrem innern Umfange Epenmark (oder Markscheide), dann Holz. Der Bast wird zu der Zeit angelegt, wo sich die Cambiumlamellen noch nicht getrennt haben, und bildet daher einen einfachen Ring, der die besondern und den allgemeinen Holzring einschliesst. Markscheide oder Epenmark und Rindenscheide bestehen sowohl im allgemeinen als in den besondern Ringen von Anfang an aus ungeordnetem Gewebe, da sie durch das Wachsthum des Markes eine beträchtliche Ausdehnung erfahren. Das Holz, dem die Ausdehnung mangelt, ist überall radial-gereiht, und in der innern Epenrinde, welche bei den besondern und dem allgemeinen Ring die nämliche geringe Ausdehnung erleidet, sind die Reihen anfänglich immer angedeutet.

---

4. Längsverlauf der Gefässstränge und der Holzringe im Allgemeinen.

Die Blätter sind in der Regel schraubenständig. In der Terminalknospe zeigten die Blattanlagen der untersuchten Arten eine Divergenz von 135 bis 137°. Von hier an bis dahin, wo die Stengelkanten ausgebildet sind, ändert sich die Divergenz in der Regel. In mehreren Fällen ist es eine Verminderung auf 130 und selbst auf 120°. In andern Fällen kann es auch eine Vergrösserung bis auf

144° sein. Da die Stengelkanten da, wo sie an den noch verkürzten Internodien vollkommen deutlich geworden sind, eine senkrechte Richtung zeigen, so lässt sich aus ihrem Verlaufe mit ziemlicher Genauigkeit die Stellung der Blätter in diesem Stadium ermitteln; — und da die so gefundene Divergenz von derjenigen der Terminalknospe abweicht, so hat an dem Stengel von dem Knospenzustande an, wo die Blätter angelegt wurden, bis dorthin, wo die Kanten ausgebildet sind, eine Drehung stattgefunden; und zwar antidrom zur Blattspirale, wenn eine Verminderung der Divergenz, — homodrom, wenn eine Vergrösserung derselben erfolgt. — An ältern Stengeltheilen haben die Kanten und Furchen sehr oft keine verticale Richtung mehr, sondern zeigen einen spiraligen Verlauf. Es hat also abermals eine Drehung stattgefunden; und diese kann entweder in dem gleichen Sinne wirken wie die erstere, oder sie kann ihr entgegengesetzt sein.

Wir haben demnach an dem Stengel der Sapindaceen, wie an so vielen andern Pflanzen eine doppelte Drehung zu unterscheiden. Die Internodien drehen sich von dem ersten Sichtbarwerden an bis zu dem Stadium, wo sich die Kanten und Furchen ausgebildet haben, was man aus der Stellung der Blätter erkennt. Später drehen sie sich noch einmal in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung, was aus dem Verlauf der Kanten ersichtlich ist. Die erste Drehung ist nicht mit Rücksicht auf räumliche Richtung, dagegen immer mit Rücksicht auf die Blattspirale constant, indem sie bei den einen Arten und Gattungen mit ihr homodrom, bei den andern antidrom wirkt. Die zweite Drehung dagegen zeigt sich indifferent bezüglich der Blattspirale, dagegen häufig constant bezüglich der räumlichen Richtung; bei den einen Arten ist sie vorwiegend oder ausschliesslich links, bei den andern rechts.

In dem Winkel eines Blattes befinden sich eine Ranke und ein beblätterter Zweig, jene meistens auf der kathodischen, dieser auf der anodischen Seite; doch ist diese Lage durchaus nicht constant. Die Ranke entwickelt sich rascher als der Laubzweig; in den nicht schlingenden Stengeln abortirt sie. Aus dem Blatte treten 3 Stränge in den Stengel ein (z. B. II, 1, a, b, c), deren Spurweite am entwickelten Stengel im eigenen Internodium 120—131°, zuweilen auch noch weniger beträgt. Aus den Axillargebilden kommen mehrere Stränge (II, 1, v, x), von denen die eine Hälfte auf die rechte, die andere auf die linke Seite vom Medianstrange sich begibt. Jede dieser beiden Stranggruppen kann entweder schon im Knoten, oder nachdem sie vorher durch einen Theil des Internodiums nebenläufig gegangen ist, zu einem einzigen Strang verschmelzen. Wir haben somit nun 5 Stränge, die den seitlichen Organen eines Knotens entsprechen, 3 Foliar- und 2 Axillarstränge.

Der Medianstrang setzt sich meistens an denjenigen der 3. untern Blattspur an (z. B. II, 2, 9 a an 6 a, 10 a an 7 a etc.). Die Vereinigung geschieht zwischen dem 4. und 7. untern Knoten, meistens im 5. oder 6. Knoten. — Dieses Verhalten ist für manche Sapindaceen typisch, obgleich es nicht immer statt hat. Dadurch enstehen in jedem Spross 3 Medianstrangsympodien, von denen sich auf der kathodischen Seite die in die Blattmitte eintretenden Stränge abzweigen. In den 3kantigen Stengeln, wo die Blattstellung im entwickelten Zustande, nach der äussern Blattspur gemessen, ⅓ beträgt, haben die Sympodien einen verticalen Verlauf, in den 5 und 6kantigen Stengeln mit grösserer Divergenz dagegen einen schiefen, mit der Blattspirale homodromen Verlauf.

Wenn die Medianstränge 3 Sympodien darstellen, so bildet das freie Ende eines jeden Stranges mit dem ihm angehörigen Stück des Sympodiums einen stumpfen Winkel. Würde der Verlauf der Sympodien als senkrecht angenommen, so betrüge die Blattdivergenz genau 120°. Würden dagegen die freien Enden der Medianstränge (die Abzweigungen der Sympodien) als vertical betrachtet, so wäre die Divergenz etwas grösser. In diesem Falle, so wie in allen andern, wo die Medianstränge keine Sympodien bilden, würde (ihr verticaler Verlauf durch je die 3 obersten Internodien vorausgesetzt) die Blattdivergenz zwischen 124 und 134° schwanken.

Von einem senkrechten Verlauf der Medianstränge kann aber bei den Sapindaceen ebenso wenig die Rede sein, als bei den übrigen Dicotyledonen; derselbe ist nicht einmal gerade. Abgesehen davon dass, wie vorhin erwähnt, die zu Sympodien verketteten Stränge knieartig gebogen sind, biegen sie sich auch hin und her; so dass die Abstände zwischen den Mediansträngen zweier successiver Blattspuren in ihrem Verlauf nach unten stetig ab- und zunehmen. — Mit der Stellung der Blattanlagen (in der Terminalknospe) stimmt die Anordnung der Medianstränge (man mag einen kürzeren oder längeren Abschnitt derselben berücksichtigen) nie in der Art überein, dass der Abstand dort und hier der nämliche wäre. Die Divergenz der innern Blattspur ist um 3 bis 15° geringer als diejenige, in welcher die jüngsten Blattanlagen sichtbar werden. Mit andern Worten, wenn durch die Anlageblattstellung die senkrechte Richtung in einem Spross bestimmt wird, so weicht die innere Blattspur von der Verticalen je auf die Länge eines Internodiums kathodisch um 3—15° ab. Die Medianstränge haben also, im Vergleich zur Anlageblattstellung, immer einen schiefen, und zwar mit der Blattspirale homodromen Verlauf.

Ebensowenig stimmt, wenige Ausnahmen abgerechnet, die innere Blattspur mit der äusseren überein. Gewöhnlich weicht sie, auf ihrem Verlaufe von oben nach unten, kathodisch von derselben ab. Da die Medianstränge meistens innerhalb der Stengelkanten liegen, so wird der eben angeführte Widerspruch nur dadurch möglich, dass die Stränge aus einer Kante in die andere übertreten. In der That beobachtet man diess nicht selten an den Knoten. Ein Medianstrang verlässt die Stengelkante, in welcher er z. B. durch 3 Internodien herabgestiegen ist, und begibt sich in die kathodischer Seits zunächstliegende, um in dieser wieder eine Strecke weit abwärts zu gehen.

Der Verlauf der seitlichen Blattspurstränge hängt von der Divergenz der Blätter am entwickelten Zweig und von der Weite der Blattspur ab. Meistens verschmilzt der kathodische Foliarstrang schon am nächst untern Knoten mit dessen anodischem Foliarstrang (II, 1, 2, b mit c). Zuweilen indessen erreicht er ihn nicht, sondern läuft herwärts von demselben (auf der anodischen Seite) herunter (VIII, z neben r, p neben h etc.). — Der anodische Foliarstrang tritt gewöhnlich am 2. untern Knoten zwischen dessen Blattspur ein, und zwar zwischen den kathodisch-lateralen und den medianen Blattstrang (I, 1, p zwischen h und g etc.; II, 2, c zwischen b und a), und verbindet sich mit dem dortigen kathodischen Axillarstrang (II, 1). Er kann auch mit dem 2. untern kathodischen Foliarsrang verschmelzen oder kathodischer Seits neben demselben hinabsteigen. — Die Axillarstränge begleiten den Medianstrang rechts und links auf einer längeren oder kürzeren Strecke, und setzen sich zuletzt meistens an denselben an (II, 1, v, x).

Die 3strängige Blattspur ist also mit der 1. untern vereint und mit der 2. verschränktläufig, oder mit der 1. und 2. vereintläufig, oder erst mit der 3. verschränkt.

Das bisher Gesagte bezieht sich auf den Verlauf der Spurstränge, wie derselbe in seiner Projection auf eine Cylinderoberfläche erscheint. Betrachten wir ferner ihre absteigende Richtung auf einer radialen Ebene, so sind die Stränge eines Stengeldurchschnittes nie gleichweit vom Centrum entfernt, auch wenn sie sich alle in dem allgemeinen Cambiumring befinden (IV, 5; V, 10); und dem entsprechend bleibt, wenn der nämliche Strang in seinem Verlaufe von oben nach unten verfolgt wird, auch sein Abstand vom Mittelpunkt nicht der gleiche. Die Stränge haben also nicht eine radialsenkrechte, sondern radialschiefe Richtung und zwar geht dieselbe ganz allgemein von oben und aussen nach unten und innen. Am wenigsten deutlich ist diese Erscheinung in den Stengeln, denen die besondern Holzringe mangeln. Doch sehen wir auch hier, dass der Cambiumring des noch unverholzten Zweiges oder die innere Fläche des Holzrings älterer Zweige mehr oder weniger merkliche Ausfaltungen bildet, dass diese Ausfaltungen da, wo sie den aus dem Blatte eintretenden Strang aufnehmen, am stärksten sind, nach unten allmählich schwächer werden und zuletzt sich verlieren. — Am deutlichsten ist der radialschiefe Verlauf in den Stengeln mit besondern Holzringen. Hier können 3 verschiedene Abstände vom Stengelcentrum unterschieden werden: die äussere Seite eines besondern Ringes, dessen innere Seite und der allgemeine Holzring. Die in den Stengel eintretenden Blattspurstränge befinden sich meistens jeder einzelne zuerst eine Strecke weit an der äussern Seite eines besondern Ringes, dann eine Strecke weit an der innern Seite eines solchen, und endlich treten sie in den allgemeinen Ring ein. — Die beiden Axillarstränge dringen von Anfang an tiefer in den Stengel ein; sie liegen zuerst an der innern Seite eines besondern Holzringes und weiter unten im allgemeinen Ring.

Die besondern Holzringe ausserhalb des allgemeinen entstehen, wie ich früher ausgeführt habe, immer da, wo die Gefässstränge sehr ungleich weit vom Centrum abstehen, und namentlich dann, wenn sie in radialer Richtung genau hinter einander zu liegen kommen. Desswegen zeigen diejenigen Kanten eines Internodiums, welche den seitlichen Blattsträngen der eigenen Spur entsprechen, die meiste Neigung zu jener abnormalen Bildung; denn diese Stränge haben unmittelbar nach ihrem Eintritt in den Stengel die am meisten excentrische Lage. Ein solcher besonderer Holzring kann schon nach einem Internodium sich wieder mit dem allgemeinen vereinigen: er kann auch so weit hinabsteigen bis er wieder auf einen in den Stengel eintretenden seitlichen Blattstrang trifft, welcher seine weitere Fortsetzung nach unten vermittelt.

Die Medianstränge sind viel weniger geeignet, besondere Holzringe zu bilden, denn ihr Abstand vom Stengelcentrum ist zuweilen merklich geringer, und wenn er gleich gross ist, so liegen die innern Stränge (Axillarstränge) rechts und links (nicht auf dem gleichen Radius). Die Axillarstränge haben einen tangentialschiefen Verlauf und convergiren nach unten; wenn sie in radialer Richtung nur wenig von dem Medianstrang, den sie zwischen sich fassen, abstehen, so legen sie sich an denselben an. Ist aber der Abstand grösser, so legen sie sich an einander an und kommen so genau innerhalb des eigenen Medianstranges zu liegen. Hier bildet sich nun ein besonderer Holzring, obgleich möglicher Weise die Stränge, wegen ihres radialschiefen Verlaufes, weniger weit vom Stengelcentrum entfernt sind als weiter oben. Der Medianstrang zeigt daher oft die merkwürdige Erscheinung, dass er nach seinem Eintritt in den Stengel zuerst durch $^1/_2$ bis 2 Internodien in einer Ausfaltung des allgemeinen Holzringes und von da an abwärts in einem besondern Ringe hinabsteigt. Er kann auch von dem Punkte an, wo er aus dem Blatt in den Stengel eintritt, einen besondern Holzring bilden, was namentlich dann statt hat, wenn er weiter vom Mittelpunkt abliegt als die lateralen Foliarstränge.

Für den Spurstrangverlauf besteht also die Verschiedenheit zwischen Stengeln, die bloss einen allgemeinen Holzring, und solchen, die ausserdem besondere Holzringe besitzen, vorzüglich darin, dass zwei Stränge, die dort vereintläufig sind, hier getrenntläufig hinter einander liegen, der eine an der äussern, der andere an der innern Seite eines besondern Ringes, oder der eine an der innern Seite des besondern, der andere im allgemeinen Holzring.

Die aufeinander folgenden Blattspuren eines Zweiges stimmen öfter rücksichtlich der Bildung von besondern Holzringen nicht mit einander überein. Man findet daher Zweige, deren successive Internodien ungleich viele besondere Holzringe zeigen, auch solche, wo die einen Internodien diese Bildung haben, die andern nicht. Auch die beiden lateralen Foliarstränge der gleichen Spur können sich ungleich verhalten, so dass der eine einen besondern Holzring, der andere nur eine Ausfaltung des allgemeinen erzeugt.

Diese verschiedenen Verhältnisse bewirken eine grosse Mannigfaltigkeit im Bau des Sapindaceenstengels. Es giebt schlingende Pflanzen, deren Zweige bloss einen allgemeinen Holzring besitzen, — Zweige, die streckenweise einen einzigen, einem lateralen Foliarstrang entsprechenden, besondern Ring zeigen, — solche, die in ihrer ganzen Länge bald keinen, bald 1 oder 2 besondere Ringe enthalten, oder an denen Internodien mit 1 und mit 2 solchen Ringen, die ebenfalls seitlichen Blattsträngen angehören, mit einander abwechseln, — Zweige, die ihrer ganzen Länge nach 3 besondere Holzringe, durch die seitlichen Foliarstränge gebildet, besitzen, — endlich solche mit 4 und mehr besondern Ringen, deren Zahl in den successiven Internodien wechselt, und die sowohl durch die lateralen als die Medianstränge gebildet werden.

Wenn ein besonderer Holzring nach oben oder nach unten endigt, so vereinigt er sich immer mit dem allgemeinen Holzring, setzt sich dabei aber zuweilen noch eine Strecke weit als Ausfaltung desselben fort. Ueberdem öffnen sich die besondern Ringe auch noch an manchen Knoten, die sie berühren, in den allgemeinen. Wenn diess geschieht, so können sie daselbst auch mit benachbarten besondern Holzringen sich vereinigen, so dass zwei obere sich in einen untern, oder zwei untere sich in einen obern fortsetzen. Treten diese Vereinigungen häufig ein, so können die besondern Holzringe eines Zweiges ein Netz mit langgezogenen schmalen Maschen darstellen.

Der Längsverlauf der besondern Holzringe lässt sich wohl am natürlichsten und am anschaulichsten darstellen, wenn man sie, wie ich es bisher gethan habe, als von den an ihrer äussern Seite herabsteigenden Spursträngen erzeugt betrachtet. Ein Foliarstrang bildet nach seinem Eintritt in den Stengel mit andern Strängen höherer Blattspuren einen besondern Ring, welcher unverändert an einem oder an zwei Knoten vorbei nach unten geht, bis er in die Nähe eines in den Stengel eintretenden Blattstranges kommt. Er öffnet sich nun nicht bloss nach aussen um diesen Strang aufzunehmen, sondern in der Regel auch nach innen und vereinigt sich mit dem allgemeinen Holzring. Diese Vereinigung, die in Form einer Ausfaltung des letztern auftritt, beschränkt sich aber auf eine kurze Strecke im Knoten selber; unterhalb desselben schliesst sich die Ausfaltung wieder zu einem besondern Ring. An dieser Stelle hat der besondere Ring einen neuen Strang von aussen erhalten; zugleich sind gewöhnlich ein oder zwei Stränge von der äussern auf die innere Seite übergetreten, und ein oder zwei Stränge, die weiter oben an der innern Seite des besondern Ringes sich befanden, sind in dem allgemeinen Ring zurückgeblieben.

Auf diese Weise kann sich ein besonderer Holzring bilden, welcher längs des ganzen Zweiges oder Stengels verläuft, und in regelmässigen Intervallen sich in den allgemeinen Ring öffnet und daselbst seine Stränge wechselt.

Zuweilen treffen zwei von oben kommende besondere Holzringe auf einen in den Stengel eintretenden Blattstrang. Sie verschmelzen beide mit dem allgemeinen Ring, und reconstruiren sich unterhalb wieder als zwei besondere Ringe; oder ihre Stränge vereinigen sich, nachdem sie einen Theil abgegeben und den eintretenden Foliarstrang aufgenommen haben, zu einem einzigen besonderen Ring, so dass dieser als die Fortsetzung von zwei oberen erscheint. — Zuweilen theilen sich die Stränge eines oberen Ringes sammt dem neu hinzugekommenen in zwei Partieen, und bilden unterhalb des Knotens zwei besondere Ringe, welche die Fortsetzung eines einzigen obern darstellen.

Da an einem Knoten 3 Foliarstränge eintreten, so können daselbst unter Umständen 2, 3 und 4 besondere Ringe mit dem allgemeinen sich vereinigen und unterhalb wieder sich in gleicher oder ungleicher Zahl fortsetzen. Dabei gruppiren sich oft die Stränge anders zusammen; der eine oder andere tritt aus einem besonderen Ring in den andern über; die Stränge eines von oben kommenden und nicht nach unten sich fortsetzenden besonderen Ringes vertheilen sich an die beiden benachbarten Ringe, oder 2 von oben kommende besondere

Ringe geben Stränge ab, um unter dem Knoten einen neuen Ring zwischen sich zu bilden.

Bei den Dicotyledonen entwickeln sich gewöhnlich die Spurstränge von oben nach unten, indem die ersten Gefässe an der Blattbasis sichtbar werden und die jüngsten Stränge nach unten blind endigen (ehe sie diejenigen erreicht haben, an welche sie sich anlegen sollen). Diess hat indess nicht überall statt, und es machen z. B. die Begoniaceen eine entschiedene Ausnahme, bei denen die Spurstränge von unten nach oben sich verlängern, um bei der Blattbasis angelangt in dieselbe auszubiegen. Die Sapindaceen verhalten sich wie die Mehrzahl der Dicotyledonen. Wenn die Anordnung der Spurstränge auf successiven Querschnitten durch die Stammspitze verfolgt wird, so beobachtet man häufig, dass dieselben nach unten hin schwächer werden, und an einzelnen sieht man, dass sie oben 2 oder 3 nebeneinander liegende Gefässe, weiter abwärts nur 1 Gefäss enthalten, und noch tiefer bloss aus einem Cambiumstrang bestehen. Entsprechend dieser Thatsache ist es eine allgemeine Erscheinung, dass die Zahl der Spiralgefässe in einem Spurstrang von oben nach unten hin an Zahl abnimmt, und dass ebenso das dieselben begleitende Cambiformbündel kleiner wird. In einzelnen Fällen wurde selbst beobachtet, dass ein lateraler Foliarstrang im 3., 4. oder 5. untern Internodium seine Spiralgefässe und sein Cambiformbündel gänzlich verloren hatte und bloss noch aus 1—2 porösen Gefässen bestand.

Rücksichtlich des Wachsthums der Gefässstränge mache ich noch auf eine Erscheinung aufmerksam, welche bis jetzt, so viel mir bekannt ist, noch keine Berücksichtigung erfahren hat. Es ist die Drehung derselben um ihre Axe, so dass z. B. das Cambium hier westlich von den Spiralgefässen, etwas weiter nördlich und noch weiter östlich von denselben liegt. Diese Drehung scheint normal beim Eintritt der Stränge aus dem Blatt in den Stengel überall da vorzukommen, wo dieselben im Blattstiel in einen Kreis gestellt sind. Diejenigen, welche im Blattstiel auf der dem Stengel zugekehrten Seite liegen, haben ihre Spiralgefässe auf der demselben abgekehrten Seite; nach dem Eintritt in den Stengel aber haben sie die umgekehrte Lage, was sie durch eine Axendrehung von 180°, die nach bestimmten Regeln ausgeführt wird, erreichen.

Bei den Sapindaceen aber findet eine solche Drehung mit der Lageveränderung in den Holzringen statt. Die Blattspurstränge liegen anfänglich an der äusseren Seite eines besonderen Ringes und haben hier ihre Spiralgefässe auf der innern (dem Mittelpunkt des Stengels zugekehrten) Seite. Dann treten sie an die innere Seite des besonderen Holzrings, wo ihre Spiralgefässe auf der äussern Seite liegen; sie machen während dieser Wanderung eine halbe Axendrehung, und bleiben zuweilen eine Strecke weit in einer mittleren Stellung, wobei ihre Queraxe mit der Stengeloberfläche parallel ist. Endlich begeben sie sich von der innern Seite des besondern Holzringes in den allgemeinen Ring, wo sie wieder ihre Spiralgefässe auf der innern Seite haben; sie machen also zu diesem Behuf noch einmal eine halbe Axendrehung. Diese letztere Drehung kann der erstern entgegen gesetzt sein, oder sie kann mit ihr übereinstimmen; im letztern Falle hat der Gefässstrang von der äussern Seite des besondern Ringes bis zur Ankunft in den allgemeinen eine ganze Drehung von 360° ausgeführt.

Die Resultate dieses Kapitels lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1) Die Blattspirale hat bei allen Sapindaceen in dem Momente, in welchem die Blätter angelegt werden, eine constante Divergenz von nahezu 137°. Wenn sich später die Stengelkanten ausgebildet haben, und nach denselben der Abstand der Insertionen gemessen wird, so variirt er bei den verschiedenen Arten von 120° bis zu 144°.

2) An jedem Knoten treten 3 Foliarstränge und 2 Axillarstränge in den Stengel ein. Sie zeigen im Allgemeinen einen tangentialschiefen Verlauf, der von dem der Stengelkanten mehr oder weniger abweicht. Die Medianstränge haben die Neigung in 3 Sympodien sich zu vereinigen.

3) Die Spurstränge haben ferner einen radialschiefen Verlauf, indem sie von der Stelle, wo sie aus dem Blatte und dessen Axillargebilden in den Stengel eingetreten sind, bis da, wo sie sich an den Strang eines tiefern Knotens ansetzen, sich mehr und mehr von der Stengeloberfläche entfernen. Demgemäss liegt ein Strang häufig in einer oben stärker nach aussen vorspringenden, abwärts sich verlierenden Ausfaltung des allgemeinen Holzringes; manchmal auch befindet er sich oben an der äussern, unten an der innern Seite eines besondern Ringes und noch weiter abwärts im allgemeinen Ring.

4) Der Längsverlauf der besondern Holzringe sowie der Falten des allgemeinen Ringes und der Uebergang der einen in die andern wird durch den Längsverlauf der Gefässstränge bedingt. In der Regel bleibt ein besonderer Ring, den man nach oben oder unten verfolgt, intact und unverändert, bis er eine Blattinsertion antrifft. Dort öffnet er sich in den allgemeinen Ring, wobei die Stränge ihre gegenseitige Lage wechseln, und er setzt sich jenseits des Knotens als besonderer Ring oder als Falte fort.

5) Die Blattspurstränge der Sapindaceen werden, wie diejenigen der meisten Dicotyledonen, von oben nach unten ausgebildet, woraus folgt, dass die abrollbaren Gefässe in einem Strang abwärts sich vermindern und manchmal auch ganz aufhören.

6) Der Umstand, dass der nämliche Gefässstrang während seines Verlaufes die Stellung in dem besondern und dem allgemeinen Ring verändert, hat zur Folge, dass auch seine Theile eine andere gegenseitige Lage annehmen, und dass die abrollbaren Gefässe bald auf der innern, bald auf der äussern, bald auf der rechten oder linken Seite liegen. Diese Drehung des Stranges um seine eigene Axe erfolgt nach constanten Regeln.

5. Anordnung der Gefässstränge und Bildung der Holzringe bei einzelnen Arten.

Cardiospermum inflatum *Arrab.*

(Taf. I.)

Laubtriebe (Schlingpflanze im bot. Garten zu München). Die Stengel haben 6 vorspringende Kanten. Nach dem Verlaufe derselben scheint die Divergenz auf den ersten Blick $^1/_3$ zu sein. Bei genauerer Untersuchung findet man aber, dass die Kanten nicht gleich stark entwickelt und nicht gleich weit abstehend sind, und dass desswegen manche Internodien ebensowohl als 5 kantig bezeichnet werden könnten. Ferner setzen sich nicht alle Kanten von einem Internodium auf das nächstfolgende fort; mitten auf ein Blatt und somit auf die von demselben herabsteigende Medianrippe trifft nämlich nicht eine Rippe des oberen Internodiums, sondern eine Furche desselben, welche von einem Paar von Rippen eingefasst ist. Die eine der letztern und zwar die kathodische ist die Medianrippe des drittoberen Blattes. Darnach lässt sich die Divergenz der Blattspirale am entwickelten Stengel, der senkrechte Verlauf der Kanten vorausgesetzt, ziemlich genau bestimmen, indem man die Messungen der Abstände zwischen den verschiedenen Kanten auf Querschnitten zu Hilfe nimmt. Wenn n den Abstand jenes Kantenpaares über einer Blattinsertion bezeichnet, so ist die Divergenz in Graden $= \frac{360 + {}^1/_2 n}{3}$, was 129° bis 130° gibt.

In der Terminalknospe ist die Divergenz der Blätter grösser. In einem Fall betrug sie, als Mittel der 9 obersten Insertionen berechnet, 136°. Es findet daher von diesem Zustande bis dahin, wo die Stengelkanten ausgebildet sind, eine Drehung statt, welche für jedes Internodium 6—7° beträgt.

In jedes Blatt treten aus dem Stengel 3 Stränge ein, (Fig. 1, abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, $\alpha\beta\gamma$), von denen der mittlere zuerst entsteht. Man trifft daher zuweilen in dem zweitobersten gefässführenden Internodium der Stengelspitze 4 Stränge, 3 für das eigene und 1 (medianen) für das nächstobere Blatt (Fig. 1, α, β, γ, δ).

Der Medianstrang der Blattspur (Fig. 1, a, d, g, k, n, q, t, x, α, δ) steigt durch 5 Stengelinternodien hinab, und vereinigt sich am 5. untern Knoten mit dem Medianstrang des 3. untern Blattes (Fig. 1, q mit g, t mit k, x mit n, α mit q, δ mit t). Von dem 3. Knoten an begleitet er den letztern in geringer Entfernung (z. B. q neben g), und die Vereinigung mit demselben kann schon ziemlich über dem 5. Knoten, sie kann aber auch erst tiefer erfolgen.

Diese Vereinigungen der Medianstränge beweisen ihren schiefen Verlauf. Wenn wir uns dieselben allein vorhanden und die Lateralstränge wegdenken, so haben wir in dem Stengel von Cardiospermum 3 sympodiale Bündel mit einseitiger (auf der kathodischen Seite befindlicher) Abzweigung der in die Blätter eintretenden Bündel. Wenn wir annehmen dürften, diese 3 sympodialen Stränge hätten eine verticale Richtung, so betrüge die Divergenz zweier auf einander folgender

Blätter genau 120°. Würde dagegen der Verlauf jedes Medianstranges durch die 3 ersten Internodien (von seinem Eintritte in den Stengel gezählt) als senkrecht vorausgesetzt, so wäre die Divergenz der Blattspirale $124^{2}/_{3}$—125°. Der Verlauf der Mediansträge weicht in den 3 ersten Internodien (nach ihrem Eintritt in den Stengel) von der Knospenblattstellung um $11-11^{2}/_{3}$° für jedes Internodium und in den Sympodien um 16° für jedes Internodium ab; diese Abweichungen finden nach der kathodischen Seite statt. — Wird die äussere Blattspur des entwickelten Stengels als senkrecht angenommen, so zeigt der Verlauf der Medianstränge je in den 3 ersten Internodien für jedes Internodium eine Differenz von durchschnittlich 5° von der Verticalen; die ganzen Sympodien aber divergiren um 9—10° per Internodium.

Ausser der schiefen Richtung haben die Stränge und ihre Sympodien auf der tangentialen Ebene auch einen krummlinigen Verlauf. Die Nothwendigkeit davon ergiebt sich schon aus dem Umstande, dass ein n. Strang sich am n—5. Knoten an den n—3. Strang ansetzt. Er lässt sich aber auch durch Messungen direkt nachweisen. Der krummlinige Verlauf der Medianstränge und ihrer Sympodien ist schlangenförmig, indem sie je zwei Internodien lang nach rechts, zwei folgende nach links ausbiegen. Die Ausbiegung in den zwei ersten Internodien (nach dem Eintritt in den Stengel) ist immer anodisch.

Für den Verlauf des Medianstranges gibt es von der angeführten Regel einige Ausnahmen. Die erste derselben, welche, wie es scheint, nicht selten eintritt, verhält sich folgender Massen. Der Medianstrang begleitet denjenigen des 3. untern Blattes durch 3 Internodien ohne sich anzusetzen, und verlässt ihn am 6. untern Knoten, um neben dem anodisch-lateralen Strang dieses letzteren hinzuziehen, und sich schliesslich (meist nach einem Internodium) mit ihm zu vereinigen. Zuweilen theilt sich der Medianstrang am 6. untern Knoten in zwei Schenkel, wobei das normale und das eben geschilderte Verhalten vereinigt werden. Auf diese Weise verhält sich Fig. 3, wo t, statt wie in Fig. 1 ganz mit k sich zu vereinigen, nur ein schwaches Bündel an k abgibt und sich mit seiner grössern Masse zu c wendet. — Eine zweite Ausnahme besteht darin, dass der Medianstrang, nachdem er, wie eben angegeben, sich zu dem anodisch-lateralen des 6. untern Blattes gewendet hat, denselben durch zwei Internodien begleitet, sich im 8. Knoten wieder von ihm entfernt, von da an neben dem kathodisch-lateralen des 8. untern Blattes hinzieht, und schliesslich sich mit demselben vereinigt. So verhält es sich mit α in Fig 2; dieser Strang entspricht α in Fig. 1; er hat sich über dem Knoten ghi, statt mit q zu verschmelzen, neben i begeben, und tritt am Knoten abc zu b. — Eine dritte Ausnahme im Verlaufe des Medianstranges kommt selten vor. Nachdem derselbe den 3. untern Medianen durch drei Internodien begleitet hat, wendet er sich von demselben ab und greift über den 6. untern anodisch-lateralen hinaus, so dass er zwischen demselben und dem 2. untern kathodisch-lateralen sich befindet. Er vereinigt sich wie bei der ersten Ausnahme mit dem 6. untern anodisch-lateralen; aber er tritt an denselben von der anodischen, statt von der kathodischen Seite heran (Fig. 2, t; vgl. mit t in Fig. 1 und 3).

Diese Ausnahmen unterscheiden sich dadurch von der Regel, 1) dass die Medianstränge sich nicht aneinander, sondern an laterale ansetzen und somit keine Sympodien bilden; 2) dass die Abweichung der innern Blattspur von der äussern geringer ist. Beim ersten und dritten Ausnahmsfall wäre nämlich bei vertikalem Verlauf der Medianstränge die Divergenz der Blattspirale $130^{1}/_{3}{}^{\circ}$ bis 131°, also nur um 1° grösser als die aus der äussern Blattspur berechnete Divergenz. Beim zweiten Ausnahmsfall betrüge sie ungefähr 125°.

Der kathodische Lateralstrang (Fig. 1, b, e, h, l, o, r, u, y, β) geht durch sein Internodium, und setzt sich zuweilen schon am nächsten Knoten an dessen anodisch-lateralen an. Gewöhnlich aber läuft er erst durch ein Internodium neben demselben hin, und vereinigt sich mit ihm über dem zweiten Knoten (z. B. h mit f, l mit i, o mit m etc.)

Der anodische Lateralstrang (Fig. 1, c, f, i, m, p, s, v, z, γ) steigt durch 2 Internodien hinab, tritt am 2. untern Knoten an dessen Medianstrang heran, begleitet denselben durch 2 folgende Internodien, um über dem 4. Knoten mit ihm zu verschmelzen (p mit g, s mit k, v mit n, z mit q, γ mit t). Diese Vereinigung tritt zuweilen unter dem 4., andere Male erst über dem 5. Knoten ein.

Die Spurweite beträgt im eigenen Internodium durchschnittlich $128^{1}/_{3}{}^{\circ}$, im 1. untern $126^{7}/_{10}{}^{\circ}$, im 2. untern $142^{3}/_{5}{}^{\circ}$ und im 3. untern $141^{1}/_{5}{}^{\circ}$.

Die Internodien sind, wie bereits bemerkt, 6kantig mit etwas ungleichen Kanten (Fig. 4, 6, 7). Innerhalb jeder derselben liegt ein Strang oder eine Gruppe von 2—3 Strängen, unmittelbar unter einem Knoten auch von 4—5; sind deren 3 vorhanden, so ist der mittlere immer der stärkere. Diese Stränge sind für die entsprechenden Kanten aller Internodien constant dieselben. Beginnen wir mit der vom Rücken des eigenen Blattes herabsteigenden Kante und gehen von da anodisch herum, so finden wir:

A. unter der ersten oder Rückenkante den eigenen Medianstrang (Fig. 4, a; 6, a; 7, d); derselbe ist kathodischer Seits von dem 2. obern anodisch-lateralen (4, i; 6, i, 7, m) und anodischer Seits von dem 3. obern medianen begleitet (4, k; 6, k; 7, n).

B. unter der 2. Kante den eigenen anodisch-lateralen Strang (Fig. 4, c; 6, c; 7, f), und anodischer Seits von demselben den 1. oberen kathodisch-lateralen (4, e; 6, e; 7, h). Letzterer kann auch mit dem ersteren verschmolzen sein. Zuweilen kommt kathodischer Seits der 6. obere Medianstrang hinzu (die früher erwähnte erste und zweite Ausnahme für den Verlauf der Medianstränge); sehr selten liegt derselbe anodischer Seits (die dritte Ausnahme; Fig. 4, t).

C. unter der dritten Kante den 1. obern Medianstrang (Fig. 4, d; 6, d; 7, g), welcher kathodischer Seits vom 3. obern anodisch-lateralen (4, m; 6, m; 7, p), und anodischer Seits vom 4. obern medianen (4, n; 6, n; 7, q) begleitet ist; die beiden erstern, oder auch alle drei, können miteinander vereinigt sein.

D. unter der 4. Kante den 1. obern anodisch-lateralen Strang allein (Fig 4, f; 6, f; 7, i); selten ist derselbe auf der kathodischen Seite von einem kleinern Strang begleitet, der wohl immer der 7. obere mediane mit exceptionellem Verlauf ist (6, x; 7, α); zuweilen befindet sich anodischer Seits der 2. obere kathodisch-laterale als gesonderter Strang

E. unter der 5. Kante den 2. obern Medianen (Fig. 4, g; 6, g; 7, k); derselbe ist kathodischer Seits von dem 4. obern anodisch-lateralen, und anodischer Seits von dem 5. obern Medianen (7, t) begleitet. Häufig ist der eine oder andere dieser beiden Stränge oder auch alle zwei mit dem erstern verschmolzen.

F. unter der 6. Kante den eigenen kathodisch-lateralen Strang allein (Fig. 4, b; 6, b; 7, e). Selten befindet sich auf der anodischen Seite der 8 obere Medianstrang (bei ganz ausnahmsweisem Verlauf des letztern; Fig. 6, α; vgl. Fig. 2).

Von den Axillargebilden steht die Ranke gewöhnlich auf der kathodischen, der Laubzweig auf der anodischen Seite; doch gibt es hievon einzelne Ausnahmen. An einem Aste fand ich z. B. regelmässig je in 2 Blattachseln die gewöhnliche und in der dritten die umgekehrte Stellung; so dass an 9 aufeinanderfolgenden Knoten die Ranke folgende Lage zeigte: k, k, a, k, k, a, k, k, a.

An der Basis der Ranke treten meist 6 Gefässstränge in den Stengel ein (Fig. 2, R), von denen bei der gewöhnlichen Stellung der Ranke 3 auf der kathodischen Seite des Medianstranges bleiben, sich mit einigen Strängen der Axillarknospe (Fig. 2, A) vereinigen, und sich schon oben im Stengelinternodium an den den Medianen begleitenden Strang ansetzen (nämlich an den anodisch-lateralen des 2. obern Blattes i in Fig. 2). Die 3 andern Rankenstränge begeben sich auf die anodische Seite des Medianstranges, verschmelzen hier zuerst mit den andern Strängen der Axillarknospe zu einem einzigen, und setzen sich dann ebenfalls schon oben im Stengelinternodium an den Strang an, welcher anodischer Seits neben dem Medianen liegt (an den 3. obern Medianen, k in Fig. 2). Ob immer von den 6 Rankensträngen 3 auf die anodische Seite hinübertreten, weiss ich nicht. Jedenfalls aber sammeln sich die Stränge der Ranke und des Laubzweiges ohne Ausnahme in 2 Axillarbündel, die rechts und links von dem Medianstrang liegen, und sich in der angegebenen Weise anlegen (Fig. 1, im Knoten abc und def; Fig. 5, a x, a x; 7, a x).

Urvillea ferruginea *Lindl.* *)

(Taf. II, III.)

Laubtriebe im Weingeist. Die Stengel sind scharf-3kantig, nahe am Scheitel stumpfkantig (Fig. 5); die Blätter stehen abwechselnd auf den Flächen. Die Blattstellung hat daher im entwickelten Zustande eine Divergenz von genau $^1/_3$ oder 120°. — In der Terminalknospe steht das dritte Blatt jedoch nicht über dem Ausgangsblatt (vgl. Fig. 3, wo die auf einander folgenden Blattanlagen mit 12, 13, 14, 15 bezeichnet sind). Die Divergenz beträgt hier deutlich mehr als $^1/_3$ des Umfanges; sie wurde einmal als Mittel von 3 Abständen (zwischen den 4 obersten Blattanlagen) zu 135° berechnet, was der Stellung $^3/_8$ gleich wäre. Da indess das fernere Wachsthum des Stengels die Divergenzen vermindert, so ist es sehr wohl möglich, dass dieser Process bereits begonnen hatte, und dass daher die Divergenzen früher noch grösser waren und den gewöhnlichen von 137° nahe kamen.

---

*) Unter diesem Namen aus dem Berliner und Pariser Garten erhalten. Serjania guaruminea Mart. aus dem Petersburger Garten ist die nämliche Pflanze.

Die äussere Blattspur (in den Stengelkanten) weicht von der ursprünglichen Blattstellung in der Terminalknospe um 15° für jedes Internodium ab. Wenn man die Blätter in diese ursprüngliche Stellung versetzt, so haben die Kanten einen schiefen, mit der Blattspirale homodromen Verlauf. In Fig. 7 sind auf der flachgelegten Stengeloberfläche die Blattinsertionen (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) mit der Divergenz $^3/_8$ angeordnet; die Linien b, c, d zeigen den Verlauf der Kanten. — Nun sind aber die Kanten in einiger Entfernung von der Spitze vertical. Es hat also eine Drehung des Stengels, antidrom zur Blattspirale, stattgefunden, welche immer von einem Knoten bis zum folgenden 15° ausmacht. — Weiter abwärts (an den sich verlängernden Internodien) zeigen die Kanten oft eine schraubenförmige Drehung, die von der frühern unabhängig ist. Bei südwestlicher Blattspirale wurde südwestliche und südöstliche, bei südöstlicher Blattspirale ebenfalls südwestliche und südöstliche Drehung der Kanten beobachtet.

Von den 3 Blattspursträngen geht der mediane (Fig. 2, a, a, a) mitten an einer Seite des 3kantigen Stengels durch 5 ganze Internodien nach unten, und vereinigt sich dann im 5. untern mit dem Medianstrang des 3. untern Blattes (11 a mit 8 a, 10 a mit 7 a, 9 a mit 6 a etc.). Oben im 3. untern Internodium beträgt sein Abstand von dem dortigen Medianstrang 27—33°. Daraus ergibt sich, dass der Verlauf der innern Blattspur weder mit der Blattstellung in der Knospe noch mit der Blattstellung und der äussern Blattspur an dem entwickelten Stengel übereinstimmt. In der Knospe beträgt die Divergenz 135°, am entwickelten Stengel 120°; die Divergenz, gemessen durch die Medianstränge an der erwähnten Stelle, wäre $\frac{360 + 27}{3} = 129°$ oder $\frac{360 + 33}{3} = 131°$. Der Medianstrang weicht also durch die 3 ersten Internodien auf jedes einzelne im Mittel berechnet, von der Blattstellung in der Knospe um 5°, von den Stengelkanten um 10° ab. Die schiefe Neigung der Medianstränge ist mit der Blattspirale und der äussern Blattspur homodrom; sie haben übrigens einen krummlinigen Verlauf, indem sie bis dahin, wo sie sich ansetzen, ein S bilden (Fig. 2).

Der kathodische Lateralstrang (Fig. 2, b, b, b) geht innerhalb einer Stengelkante durch ein Internodium und vereinigt sich im nächsten Knoten mit dessen anodischem Lateralstrang (11 b mit 10 c, 10 b mit 9 c etc.).

Der anodische Lateralstrang (Fig. 2, c, c, c) geht innerhalb einer andern Stengelkante durch 2 Internodien und spaltet sich im 2. Knoten in 2 Schenkel (n, o in Fig 1 und 2). Der eine derselben (o) wendet sich, anodisch abbiegend, gegen die Mitte der Seite, an welcher das 2. untere Blatt steht, dessen Medianstrang er durch 2—3 Internodien begleitet und dann sich mit ihm vereinigt. Der andere (n) bleibt innerhalb der nämlichen Stengelkante, und vereinigt sich nach 3 Internodien mit dem homologen Schenkel des anodischen Lateralstranges vom 3. untern Blatt.

Die Blattspur, welche eine Seite des 3kantigen und gleichseitigen Stengels einnimmt (Fig. 5, a b c), hat durch die 2 nächsten Internodien eine Weite von ziemlich genau 120°. Weiter abwärts zeigt sie, wenn wir von dem äussern kleinern Schenkel des anodischen Lateralstranges absehen, und die Stränge im Uebrigen in ihrer Vereintläufigkeit mit andern verfolgen, abwechselnd etwelche Erweiterungen und Verengerungen, behält aber im Ganzen die nämliche Spurweite. Durch 6 Internodien haben die beiden Lateralstränge einen schiefen Verlauf; ihre Abweichung von den Stengelkanten beträgt auf diese ganze Länge 90°, was auf jedes Internodium im Mittel 15° ausmacht. Von da abwärts gehen sie mit den Stengelkanten parallel.

Im Winkel des Blattes steht ein rankenartiger Zweig und eine Laubknospe, jener auf der kathodischen, diese auf der anodischen Seite. In Fig. 4 sind die Blattbasis (t), die eine Stipula (u), die Ranke (v) und die Laubknospe (x) mit einander verwachsen. Aus der Ranke treten 4 (Fig. 1, v), aus der Knospe 3 Stränge (x) in den Stengel ein, und zwar zwischen den medianen und die lateralen Foliarstränge, näher dem erstern. Zwei Rankenstränge bleiben auf der Kathodalseite des Medianstranges; sie vereinigen sich etwas unter der Mitte des Internodiums mit dem anodischen Lateralstrang des 2. obern Blattes (o) und gegen den Grund des Internodiums mit dem Medianstrang. Die zwei andern Rankenstränge treten auf die Anodalseite des Medianstranges über, und treffen hier mit den 3 Knospensträngen (x) zusammen. Einer der letztern vereinigt sich sogleich mit einem der Rankenstränge, die beiden andern vereinigen sich bald darauf unter einander. Es bleiben somit 3 Stränge übrig, welche unter der Mitte des Internodiums erst unter einander und gegen die Basis desselben mit dem Medianstrang verschmelzen.

Beim Eintritt in die Blattbasis finden an den 3 Spursträngen wiederholte Theilungen und Anastomosen statt. Der Querschnitt durch den untersten Theil des Blattstieles zeigt 8 deutliche Stränge (Fig. 9 und 10); davon sind 6 durch Cambium in einen Ring vereinigt, nämlich ein medianer hinterer (k), 2 laterale hintere (je 1 rechts und links von dem medianen, l und m), ein medianer vorderer (p) und 2 laterale vordere (n und o). Ausserdem befinden sich auf der vordern Seite zwischen dem medianen und den beiden lateralen 2 ausserhalb des Cambiums in der Rinde liegende (extraannuläre) Stränge (q und r). Von den genannten ist p der stärkste, k, l und m etwas schwächer, n und o ziemlich klein, q und r noch kleiner. Diese 8 Stränge zeigen folgende Beziehungen zu den 3 Spursträngen, die aus dem Stengel kommen (Fig. 9, a b c). Der mediane Spurstrang (a) theilt sich in 3 Schenkel, von denen der mittlere unmittelbar zum medianen hintern Strang des Blattstieles (k) wird. Jeder der beiden lateralen Spurstränge theilt sich in 2 Schenkel (b in f und g, c in h und i), von denen der äussere in das Nebenblatt eintritt (f, h). Der innere Schenkel des lateralen Spurstranges (g, i) vereinigt sich mit dem zugekehrten lateralen Schenkel des medianen in eine Masse (g mit d, i mit e), welche sich sogleich wieder in 2 Aeste theilt. Der äussere (von der Medianlinie abgekehrte) Ast theilt sich sehr bald in 2 Stränge, einen lateralen hintern (l, m) und einen lateralen vordern (n, o).

Der innere Ast spaltet sich etwas später in 2 Stränge; der äussere derselben ist ein extraannulärer (q, r); der innere vereinigt sich mit dem innern der andern Seite und bildet den medianen vordern Strang (p). Ausserdem sind zuweilen neben dem medianen hintern Strang in der Blattstielbasis noch 2 kleine Bündel sichtbar (Fig. 10, s, t), deren Vereinigung nach unten nicht verfolgt wurde; wahrscheinlich setzen sie sich an l und m an.

Von allen diesen Strängen entsteht zuerst der mediane Spurstrang, welcher noch ohne Verzweigung in den Rückennerv des Blattstiels geht (Fig. 9, a k), dann die beiden lateralen Spurstränge, welche ebenfalls noch unverästelt in die Nebenblätter eintreten (b f, c h). Erst etwas später bilden sich die von dem medianen und den lateralen Spursträngen abzweigenden Schenkel (g, d, e, i), die sich miteinander verbinden und die übrigen Stränge des Blattstieles erzeugen. — Der Querschnitt durch das abwärts zweite gefässführende Stengelglied zeigt zuweilen 4 Gefässstränge, 3 für das eigene, und einen medianen für das erstobere Blatt. Zuweilen findet man in dem zweiten gefässführenden Stengelglied bloss 2 Medianstränge für das eigene und das nächstobere Blatt, und im dritten 5 Stränge, indem zu den beiden ebengenannten noch die 3 Spurstränge des nächstuntern Blattes hinzukommen (in Fig. 6 sind a b c die 3 Stränge der eigenen Blattspur, f und l die medianen für das 1. und 2. obere Blatt.)

Die Spurstränge befinden sich nicht alle in dem allgemeinen Holzring; einzelne bleiben ausserhalb desselben, und bilden in den 3 Stengelkanten eben so viele besondere Holzringe (Fig. 5, c d, h i, b n; 12, h i). Die Rolle, die dabei die einzelnen Stränge spielen, ist sehr regelmässig und constant; in Fig. 1 und 2 sind die im allgemeinen Ring befindlichen Stränge ausgezogen, die an der äussern Seite der besondern Ringe punktirt, die an ihrer innern Seite liegenden gestrichelt. Die medianen (a in Fig. 1, 2, 4, 5) und die Axillarstränge (Fig 1, v, x; 5, p, q) treten unmittelbar in den allgemeinen Ring ein, und bleiben in demselben. Die beiden lateralen Stränge dagegen (b und c in Fig. 1, 2, 4, 5) verlaufen ausserhalb. Der kathodische (b in Fig. 1 und 2) geht durch ein Internodium an der äussern Seite des entsprechenden besondern Holzringes, um im nächsten Knoten mit dem anodischlateralen dieses Knotens (c) zu verschmelzen. Der anodische (c in Fig. 1 und 2) steigt durch 2 Internodien an der äussern Seite des betreffenden besondern Holzringes hinab. Von den beiden Schenkeln, in die er sich im 2. untern Knoten theilt, tritt der anodische (o) in den allgemeinen Holzring ein, um sich weiter unten mit dem Medianen (a) des 2. untern Blattes zu vereinigen. Der kathodische Schenkel dagegen (n) begibt sich auf die innere Seite des besondern Holzringes, an welchem der ganze Strang oberhalb seiner Theilung die äussere Seite einnimmt. Er verbleibt in dieser Lage durch 2 Internodien und vereinigt sich dann mit dem gleichbedeutenden Schenkel des anodischen Seitenstrangs vom 3. untern Blatt.

Der besondere Holzring, der innerhalb jeder Stengelkante liegt, besteht also aus 2 Strängen (b und n, c und d, h und i in Fig. 1 und 5), einem äussern und einem innern. Der äussere ist in 2 Stengelecken ein lateraler des nächsten

(Fig. 5, b und c), in der dritten Ecke ein anodisch-lateraler des erstobern Blattes (Fig. 5, h; vgl. Fig. 1). Der innere dagegen ist immer der Schenkel eines anodisch-lateralen Stranges, und zwar in einer Stengelecke vom 2. obern (n in Fig. 5 und 1), in der zweiten vom 3. obern (d) und in der dritten vom 4. obern Blatt (i).

Zwischen je zwei besondern Holzringen, also an jeder Stengelseite, befindet sich eine Gruppe von Gefässsträngen, welche nach der, durch die Blattstellung gegebenen Bedeutung der Stengelseite und nach der Entfernung des Querschnittes vom Knoten verschieden sich verhält. Dicht am Knoten ist die Seite, die dem nächsten Blatt entspricht, in ihrer ganzen Breite mit Strängen besetzt (Fig. 11, und Fig. 1 zwischen b und c); der mittlere davon zeichnet sich durch seine Grösse aus, es ist der mediane der eigenen Blattspur (a); rechts und links davon liegen die Axillarstränge (Fig. 11, p, q; Fig. 1, v, x); dann folgen einerseits der 3. obere mediane (Fig. 11, r; vgl. Fig. 1), anderseits ein Schenkel des 2. obern anodisch-lateralen Blattstranges (Fig. 11, o; Fig. 1, o). Tiefer im Internodium findet man die Axillarstränge meist in zwei Stränge vereinigt (Fig. 5, p, q); noch tiefer haben sich mit denselben die beiden benachbarten Stränge (Fig. 5, o, r) vereinigt, so dass nun 3 Stränge in der Mitte der Stengelseite sich befinden. Die analogen 3 Stränge, nur etwas näher zusammengerückt, beobachtet man an der zweiten Stengelseite; sie kommen vom erstobern Blatt (e, f, g in Fig. 5 und 11, vgl. Fig 1). Die dritte Stengelseite zeigt gewöhnlich in ihrem obersten Theile noch die nämlichen 3 Stränge, die vom 2. obern Blatte herstammen, getrennt (Fig. 5, k, l, m); zuweilen sind dieselben schon dort, immerhin aber weiter abwärts in einen einzigen Strang vereinigt (Fig. 11, k l m; vgl Fig. 1).

Die besondern Holzringe sind vollkommen von dem allgemeinen Holzring geschieden, und lassen sich an ältern Zweigen auch mit Leichtigkeit von demselben ablösen. Sie hängen aber, entsprechend dem vorhin geschilderten Verlaufe der Spurstränge, je in dem 3. Knoten durch eine Anastomose mit ihm zusammen. Diese Anastomose ist der aus dem besondern in den allgemeinen Ring eintretende anodische Schenkel des anodisch-lateralen Spurstranges (o in Fig. 1 und 2). Man findet daher in jedem Knoten einen der besondern Holzringe mit dem allgemeinen verbunden, und zwar ist es in jedem Knoten ein anderer, nämlich derjenige, welcher dem kathodischen Rande des dort befindlichen Blattes entspricht. Fig. 8 gibt eine schematische Darstellung dieses Verhaltens; a ist der allgemeine, b, c, d, die 3 besondern Holzringe; man sieht sowohl in der Längsansicht als an den Durchschnitten der 4 Knoten (I, II, III, IV), wie in jedem desselben ein besonderer Holzring mit dem allgemeinen in Berührung tritt (nämlich b in I, c in II, d in III, b in IV).

Von den beiden Gefässsträngen, welche die Grundlage eines besondern Holzringes darstellen, (b und n, c und d, h und i in Fig. 5), entsteht zuerst der äussere (b, c, h); er ist auch fortwährend der stärkere. Zwischen beiden bemerkt man oft zeitlebens starke Markstrahlen, welche auf dem Querschnitt des Stengels mit der Oberfläche desselben parallel laufen.

Die Anastomose in dem Knoten zeigt, wenn wir sie von oben nach unten verfolgen, nachstehende Erscheinungen. Dicht am Knoten fängt der betreffende besondere Holzring an, sich um seine Axe zu drehen, und zwar nach rechts bei Rechtswendung und nach links bei Linkswendung der Blattspirale. In Fig. 12 hat die Drehung bereits begonnen; die zwei Stränge h und i befinden sich nicht mehr in demselben Radius, wie das z. B. in Fig. 11 der Fall ist. Der besondere Holzring dreht sich um 90°, so dass der äussere grössere Strang (h) dem Blatte zu, der kleinere innere (i) demselben abgekehrt ist. Zugleich öffnet sich der besondere Ring in den allgemeinen, und erscheint jetzt bloss als eine Ausbuchtung desselben (Fig. 13, wo h und i nicht mehr hinter, sondern neben einander liegen). Der grössere äussere Strang (es ist der anodisch-laterale des zweitobern Blattes) theilt sich wenig tiefer in zwei Schenkel, welche nach unten auseinander weichen (Fig. 14, o und n). Der besondere Holzring trennt sich dann wieder von dem allgemeinen los (Fig 15), indem er den einen Schenkel (o) in demselben zurücklässt. Anfänglich an der innern Seite noch offen (Fig. 15) schliesst er sich hier bald, um sich an der äussern Seite zu öffnen (Fig. 16) und daselbst den kathodischen Seitenstrang des Blattes (b) aufzunehmen, welcher von da an abwärts die äussere Seite behauptet. Der Schenkel (n) des oberhalb vom Knoten äussern Stranges (h) und der innere Strang (i), die eben noch einander opponirt waren, nähern sich beide einander (Fig. 14) und verschmelzen dann miteinander (Fig. 15 und 16 n i), so dass der besondere Holzring nun wieder seinen normalen Bau zeigt mit 2 Strängen, einem grösseren äusseren (Fig. 16, b) und einem kleinen innern (n i).

Mit den Erscheinungen, welche die Anastomose zwischen dem besondern und dem allgemeinen Holzring begleiten, treten, wie ich eben gesagt habe, Drehungen der Gefässstränge auf, welche aus der Lage des Holztheils und des Cambiums derselben ersichtlich sind. Der äussere Strang dreht sich, wenn wir ihn von oben nach unten verfolgen, zuerst nahezu um 90°, homodrom mit der Blattspirale (Fig. 12, 13, h). Sein in den allgemeinen Holzring eintretender Schenkel zeigt eine entgegengesetzte Drehung von gleichem Belange, so dass er wieder seine ursprüngliche Richtung annimmt (Fig. 14, 15, 16, o). Sein anderer Schenkel kehrt zuerst in die ursprüngliche Lage zurück, um sich mit dem andern Strang des besondern Holzringes zu vereinigen (Fig. 15, n i); dann macht er mit demselben eine halbe Drehung, so dass er nun an der innern Seite des untern besondern Holzcylinders sich befindet (Fig. 16, n i), und eine seiner frühern entgegengesetzte Lage zeigt, in welcher er sein Cambium nach dem Centrum des Stammes, statt nach der Peripherie kehrt. Der innere Strang des besondern Holzringes dreht sich zuerst um 90°, homodrom mit der Blattspirale (Fig. 12, 13, i); dann setzt er seine Drehung fort, bis er nochmals 90° zurückgelegt hat, geht dabei die ebengenannte Vereinigung ein (Fig. 15, n i) und kehrt schliesslich in seine frühere Lage zurück (Fig. 16, n i). Andere Drehungen kommen an den Blattspursträngen im Stamme nicht vor. Dagegen finden sich ähnliche Erscheinungen im Grunde des Blattstiels.

Paullinia spec.

(Taf. IV, V, VI, Fig. 1—13).

Laubtriebe (Schlingpflanze aus dem bot. Garten in München). Die ausgebildeten Internodien sind 6kantig; zwei Kanten sind immer sehr genähert (Fig. 4, 5, 6, 10). Wären dieselben ganz verschmolzen, so würde der Verlauf der äussern Blattspur mit den 5kantigen Sapindaceen (z. B. Serjania mexicana) übereinstimmen und die Divergenz der Blattspirale $^2/_5$ betragen. So aber zeigt sich eine deutliche, wenn auch nicht sehr beträchtliche Verschiedenheit. In Fig. 7 ist der Verlauf der Kanten auf der ebengelegten Cylinderfläche dargestellt; α, β, γ sind die 3 von einem Blatte herabsteigenden Kanten, δ die Ranke, und ε die Laubknospe in dessen Achsel, 0 . . . 5 die 6 auf einander folgenden Stengelknoten. Die Mediankante (α), welche von dem Rücken des Blattes herabsteigt, setzt sich nicht, wie es beim 5kantigen Stengel der Fall ist, in die kathodisch-seitliche (β) des 2. untern Knotens fort; sondern sie läuft durch das 2. untere Internodium dicht neben derselben her, sich immer mehr nähernd, und vereinigt sich endlich mit ihr, so dass beide ihre Fortsetzung in der anodisch-lateralen Kante (γ) des 3. untern Internodiums finden. Die letztere, über dem 5. untern Blatte anlangend, trifft genau auf die Ranke (δ) und ebenso auf die Mitte des Raumes zwischen der medianen und kathodisch-lateralen Kante des 5. untern Knotens, und setzt sich kathodisch abbiegend in die letztere fort (in Fig. 7 setzt sich die vom Knoten 5 herabsteigende Rückenkante α in die Kante γ des Knotens 2 fort, und trifft in dieser Verlängerung auf die Ranke δ und somit zugleich auf die Mitte zwischen den Kanten α und β des Knotens 0). — Wird die Divergenz der Blattspirale aus dem Verlauf der Rückenkante bis zum 5. untern Knoten bestimmt, und dabei die Ausweichung an diesem Knoten nicht in Anschlag gebracht, so beträgt sie 138°.

Der Medianstrang (Fig. 13, a, d, g, k, n, q, t, x) geht durch 3 Internodien nach unten, vereinigt sich im 3. Knoten mit dessen anodischem Axillarstrang (z. B. t mit z, q mit z), steigt dann mit demselben vereintläufig durch 3 fernere Internodien hinab, um im 6. Knoten mit dem 3. untern Medianstrang und dem 6. untern anodischen Axillarstrang zu verschmelzen (t mit k, x mit n).

Die Medianstränge bilden demnach in jedem Stengel 3 Sympodien mit einseitiger, kathodischer Abzweigung in die Blätter. Wenn die Sympodien senkrecht wären, so betrüge die Blattdivergenz $^1/_3$ oder 120°. Wird nach dem Verlauf der Kanten an dem ausgebildeten Stengel die Divergenz zu 138° angenommen, so beträgt die Abweichung der Medianstrangsympodien von der Vertikalen für jedes Internodium 18°. — Der horizontale Abstand eines in den Stengel eingetretenen Medianstranges von demjenigen der 3. obern Spur beträgt 14—18° und im Mittel von 7 Messungen $16^3/_7$°. Würde der Verlauf der Medianstränge je in den 3 obersten Internodien als vertical angenommen, so wäre die Divergenz der Blätter $125^1/_2$°. Die Abweichung der Medianstränge, je in den 3 obersten Internodien, von der äussern Blattspur beläuft sich also auf 12° für jedes Internodium. Die Abweichung der innern Blattspur von der äussern zeigt sich auch deutlich in der Thatsache, dass der Medianstrang am 3. untern Knoten in eine andere Stengelkante übertritt.

Die Medianstränge und ihre Sympodien haben ausser dem schiefen auch einen krummlinigen Verlauf, indem sie schlangenförmig bald nach rechts bald nach links gebogen sind. Damit hängt die Thatsache zusammen, dass zwei Stränge oder Sympodien, wenn man sie durch mehrere Internodien verfolgt, bald sich von einander entfernen, bald sich nähern, und dass in dem nämlichen Internodium die ringsherum aufeinander folgenden Stränge ungleiche Abstände zeigen. Die Messungen an 7 verschiedenen Internodien gaben folgende Mittelwerthe. Der Winkel zwischen n und n—1 ist 139°, zwischen n—1 und n—2 127°, zwischen n—2 und n—3 110°, zwischen n—3 und n—4 138°, zwischen n—4 und n—5 127°, — wenn in jedem Internodium n der Mediannerv der eigenen Blattspur, n—1 derjenige der erstobern, n—2 derjenige der zweitobern ist u. s. w.

Der kathodische Lateralstrang der Blattspur (Fig. 13, b, e, h, l, o, r, u) steigt durch ein Stengelinternodium hinab und setzt sich am erstuntern Knoten an dessen anodischen Lateralstrang an (e an c, h an f, u an s etc.). — Der anodisch-laterale Blattstrang (Fig. 13, c, f, i, m, p, s, v) geht durch zwei Internodien nach unten, vereinigt sich am 2. Knoten mit dessen kathodischem Axillarstrang (s mit y, p mit y), mit dem er vereintläufig 2 fernere Internodien durchzieht und am viertuntern Knoten oder etwas tiefer mit dem Medianstrang der zweituntern Blattspur verschmilzt (s mit k, p mit g, v mit n). — Die Blattspur hat im eigenen und im erstuntern Internodium eine durchschnittliche Weite von 127°, und zwar ist sie bald in dem erstern, bald in dem letztern etwas weiter. Der Unterschied beträgt 2—10°; der häufigere Fall ist, dass sie sich nach unten erweitert.

Die aus den Axillargebilden (Ranke und Laubzweig, von denen die erstere auf der kathodischen Seite sich befindet), in den Stengel eintretenden Gefässstränge verschmelzen in zwei Bündel, von denen das anodische (Fig. 13, z) mit dem Medianstrang der 3. obern, das kathodische (y) mit dem anodischen Lateralstrang der 2. obern Blattspur sich vereinigt.

Die Stengelinternodien haben, wie eingangs bemerkt wurde, 6 Kanten, von denen zwei genähert sind. An den Querschnitten in Fig. 5 und 10 sind dieselben in der nämlichen Art bezeichnet wie am Grunde von Fig. 7; α, β, γ sind die von dem Blatt des eigenen Knotens, α^1 und γ^1 die von dem 1. obern, α^2 die von dem 2. obern Blatt herablaufenden Kanten. Die Gefässstränge sind in Fig. 5 und 10 mit den gleichen Buchstaben benannt, wie in Fig. 13, und folgen in der gleichen Reihe, wie am Grunde dieser Figur. Unter der Rückenkante (α in Fig. 10) befinden sich 3 Stränge: der Medianstrang (a), und die beiden Axillarstränge, von denen der anodische mit dem 3. obern medianen (k), der kathodische mit dem 2. obern anodisch-lateralen (i) verschmolzen ist. Innerhalb der anodisch-lateralen Kante der eigenen Blattspur (γ) befindet sich in der Regel nur 1 Bündel, das aber zuweilen seine Zusammensetzung aus zweien deutlich erkennen lässt; es ist das anodisch-laterale des eigenen (c) und das kathodisch-laterale des nächstobern Blattes (e). Unter dem Kantenpaar (β und α^2)

liegen 3 Stränge; der kathodisch-laterale der eigenen Blattspur (b), der 2. obere mediane (g), und zwischen beiden ein Medianstrangsympodium (q), welches zunächst den 2. obern anodischen Axillarstrang und den 5. obern Medianen abgiebt. Die Kante, welche zunächst folgt (γ^1), enthält nur den anodischen Lateralstrang der 1. obern Spur (f). Die letzte Kante endlich (α^1) birgt 3 Stränge, den Medianen des 1. obern Blattes (d) mit seinen beiden Axillarsträngen, von denen der anodische mit dem 4. obern medianen (n), der kathodische mit dem 3. obern anodisch-lateralen Blattstrang (m) vereinigt ist.

Von den 5 Strängen, die in einem Knoten aus dem Stengel heraustreten, entsteht zuerst der mediane, nachher die beiden lateralen Foliarstränge, so dass das oberste gefässführende Internodium oft nur einen, das zweitoberste 4 Stränge (Fig. 4 und 13), das drittoberste 6 (Fig. 13) enthält. Die beiden Axillarstränge sind erst im 4. obersten gefässführenden Internodium sichtbar (Fig. 13); dasselbe zeigt 8, das 5. oberste 10 Stränge (Fig. 6 und 13).

Der geschilderte Blattspurverlauf ist der gewöhnliche; es giebt aber, wie bei andern Arten, Ausnahmen davon, indem an bestimmten Stellen neben den grössern Strängen ein kleinerer auftritt (Fig. 5, ζ und η). Diess sind Stränge von höhern Spuren, die sich nicht in der normalen Art ansetzten, oder Abzweigungen von solchen Strängen.

Die Stränge liegen alle in dem allgemeinen Holzring; nur sind diejenigen, welche der Mitte der Kanten entsprechen, meist beträchtlich nach aussen gerückt (Fig. 6, k, n; 10, a). Man sieht zeitlebens die denselben entsprechende Holzpartie vorspringen (Fig. 11). Besondere Holzringe wurden aber nie bei dieser Art beobachtet.

Paullinia alata *G. Don.*

(Taf. VII, 1—8.)

Laubzweige (in Weingeist aus dem Pariser Garten). Die entwickelten Internodien sind 5- oder 6kantig (Ersteres in Fig. 6 und 8); von 6 Kanten sind zwei einander genähert und die eine davon gewöhnlich schwächer oder undeutlicher (Fig. 7). Der Verlauf der äussern Blattspur stimmt mit der vorhergehenden Art überein.

Der Mediannerv geht durch 6 Internodien hinab und vereinigt sich am 5. Knoten mit dem anodischen Axillarstrang der 3. untern, am 6. Knoten mit dem Medianstrang und dem kathodischen Axillarstrang ebenfalls der 3. untern Spur. Denken wir uns die übrigen Stränge weg, so bilden die Medianstränge eines Sprosses 3 Sympodien mit kathodischer Abzweigung in die Blätter. Der Unterschied von der vorhergehenden Art besteht nur darin, dass diese Abzweigungen mit den Sympodien einen grössern Winkel bilden. — In dem nämlichen Internodium beträgt der Abstand zwischen dem Medianstrang der eigenen und dem der erstobern Blattspur durchschnittlich 137°, zwischen den Mediansträngen der erst- und zweitobern Spur 120°.

Der anodische Lateralstrang der Blattspur steigt durch zwei Internodien hinab und setzt sich im zweiten Knoten an den dortigen kathodischen Lateralstrang an.

Der kathodisch-laterale Blattstrang dagegen vereinigt sich schon am erstuntern Knoten mit dessen anodischem Lateralstrang. Die lateralen Blattspurstränge bilden somit, da sie sich an einander ansetzen, zusammen ebenfalls 3 Sympodien in einem Spross, was mit den 3 Sympodien der Medianstränge zusammen 6 ausmacht. — Die Blattspur scheint im eigenen und im erstuntern Internodium im Mittel eine Weite von 131° zu haben.

Die aus der Ranke und der Laubknospe in den Stengel eintretenden Bündel vereinigen sich in zwei Axillarstränge. Nachdem der anodische derselben durch 2 Internodien eigenläufig hinabgestiegen ist, wird er im 2. untern Knoten oder auch tiefer mit dem Medianstrang des drittobern Blattes vereintläufig und setzt sich im drittuntern Knoten oder unterhalb desselben an den eigenen Medianstrang an. Der kathodische Axillarstrang geht eigenläufig durch 3 Internodien und vereinigt sich ebenfalls im drittuntern Knoten mit dem eigenen Medianstrang; die Verschmelzung erfolgt zuweilen erst weiter abwärts.

Paullinia alata unterscheidet sich im Strangverlauf von der vorgehenden Art (die in Fig. 13 auf Taf VI dargestellt ist) besonders dadurch, dass der anodische Lateralstrang im zweituntern Knoten an den kathodisch-lateralen Blattstrang statt an den kathodischen Axillarstrang sich ansetzt, und dass die Vereinigung des Medianstrangs mit dem anodischen Axillarstrang der drittuntern Spur nicht schon im 3. Knoten, sondern erst im fünftuntern Knoten oder noch tiefer erfolgt.

Es konnte nur ein einziger Zweig mit terminaler Knospe untersucht werden. Die untern Internodien desselben zeigten, entsprechend der eben geschilderten Stranganordnung, auf dem Querschnitt 14—15 Stränge (Fig. 6, 7). Ein stärkerer Ast hatte über 20 Gefässbündel (Fig. 8). Ob damit ein anderer Verlauf verbunden sei oder ob bei ursprünglich gleicher Anordnung durch Gabelungen und Abzweigungen in den Knoten die Zahl sich nachträglich noch vermehrte, liess sich aus Mangel an Material nicht entscheiden. Die Analogie anderer Arten (z. B. Serjania mexicana, Fig. 14 auf Taf. VI) möchte Letzteres vermuthen lassen.

Die Gefässstränge befinden sich in sehr ungleichen Entfernungen von dem Centrum des Markes, und zuweilen trifft es sich, dass innerhalb einer Kante ein Strang in ziemlich genauer radialer Richtung ausserhalb eines andern liegt. Der äussere ist dann immer ein seitlicher Foliarstrang der eigenen oder der nächstobern Spur, der innere dagegen ein Median- oder Axillarstrang der zweitobern oder einer höhern Spur. — Dem entsprechend finden sich an den ältern Internodien ausserhalb des allgemeinen Holzringes häufig 1, 2 oder 3 besondere Holzringe (Fig. 8); doch können dieselben auch ganz mangeln.

Der Querschnitt durch das Internodium zeigt unter 3 Stengelkanten die 3 Stränge der eigenen Blattspur (Fig 1, l, m, n; 5 und 6, f, g, h; 7, a, b, c; 8, a, b, c). Neben dem Medianstrang befinden sich die Axillarstränge; dicht am Knoten sind dieselben noch in mehrere Stränge getheilt (Fig. 1, o, p; 5, i, k); nachher vereinigen sie sich in je 2 (Fig 6, i, k; 7, d, e; 8, d, e). — Unter den beiden andern Stengelkanten liegen der mediane und anodische Blattstrang der erstobern Spur (Fig. 1, q, s; 5 und 6, l, n; 7, f, h; 8, f, h); der mediane hat die beiden Axillarstränge der gleichen Spur neben sich (Fig. 1, u, t; 5 und

6, o, p; 7, i, k; 8, i, k). Der kathodische Foliarstrang ist dicht am Knoten noch gesondert (Fig. 1, r; 5, m); weiter abwärts verschmilzt derselbe gewöhnlich mit dem anodischen der eigenen Spur (Fig. 6, m; 7, g); selten bleibt er getrennt (Fig. 8, g). — Die sechste schwächere Stengelkante birgt den Medianstrang der zweitobern Spur (Fig. 1, v; 5 und 6, q; 7, l; 8, l); neben demselben befinden sich die beiden zugehörigen Axillarstränge (Fig 1, x, y; 5 und 6, t, u; 7, o, p; 8, o, p). Ueber die andern Stränge, welche in den Internodien sichtbar sind, sowie über den Eintritt der Rankenstränge (Fig. 3 und 4, γ, δ, ε, ζ), der Laubknospenstränge (Fig. 3, α, β) und der Blattstränge (Fig. 4, η) in den Knoten ist die Erklärung der Tafeln zu vergleichen.

Serjania mexicana *Willd.*

(Taf. VI, 14; VII, 9).

Laubtriebe (Schlingpflanze im botan. Garten zu München). Die Stengel sind 5kantig (VII, 9). Die Kanten der successiven Internodien treffen alle genau auf einander; nur diejenige, welche von oben her mitten über einem Blatte anlangt, weicht kathodisch ab und trifft, statt auf die Blattmediane, auf die in dessen Achsel befindliche Ranke. Es lässt sich also eine Kante, welche von dem Rücken eines Blattes herabsteigt, durch das eigene und noch 4 Internodien ununterbrochen verfolgen; am Grunde des 4. Internodiums biegt sie aber etwas aus, und kann somit nicht als Fortsetzung der von dem 5. Blatt herabsteigenden Kante betrachtet werden. Ihr unteres Ende entspricht vielmehr der Mitte zwischen der Rückenkante und der kathodischen Lateralkante des 5. Internodiums. — Wenn man die Blattstellung an den entwickelten Trieben ausschliesslich nach dem Verlauf der Rückenkanten beurtheilen wollte, so betrüge die Divergenz ziemlich genau $\frac{1 + {}^9/_{10}}{5} \pi = 136{,}8^\circ$. Wird aber die Ausbiegung der Rückenkanten über dem 5. Blatte, welche mit dem geraden Verlauf der übrigen Kanten im Widerspruch steht, vernachlässigt, so ist die Divergenz $^2/_5 = 144^\circ$. Die letztere Anschauungsweise scheint mir die richtigere.

Da zur Zeit der Untersuchung nur ruhende Triebe zu Gebote standen, so konnte weder die Blattstellung in der Terminalknospe beobachtet, noch die Gefässstränge bei ihrer ersten Anlage verfolgt werden. In den Zweigen, die zu verholzen anfangen, verhält sich die Anordnung der Stränge folgender Massen. Der Medianstrang (VI, 14, a, d, g, k, n, q, t, x) steigt durch 3 Internodien herab, verschränkt sich am 3. Knoten mit dessen anodisch-lateralem (k mit c, n mit f etc.), und vereinigt sich dann mit dem anodischen Axillarstrang dieses Knotens (k mit λ, n mit μ, q mit ν). Er geht nun vereintläufig durch 2 Internodien, verschränkt sich mit dem kathodischen Lateralstrang des 5. untern Blattes (q mit b, t mit e), steigt abermals durch 3 Internodien herunter und vereinigt sich unter dem 8. Knoten mit dem kathodischen Axillarstrang dieses letztern und mit dem anodischen Lateralstrang des 6. Blattes (α der Medianstrang des 8. Knotens mit i und λ, β der des 9. Knotens mit m und μ, γ derjenige des 10 Knotens mit p und ν).

Wenn die Medianstränge der Blattspur einen senkrechten Verlauf hätten, so wäre die Divergenz der Blätter fast genau $^{3}/_{8}$, nämlich $134\,^{1}/_{4}{}^{\circ}$. Wird die Blattstellung am entwickelten Stengel entsprechend dem parallelen Verlauf aller Kanten zu $^{2}/_{5}$ angenommen, so beträgt die Abweichung der Medianstränge von der Verticalen für jedes Internodium beinahe 10°. Dass äussere und innere Blattspur nicht mit einander übereinstimmen können, ergibt sich auch schon aus dem Umstand, dass der Medianstrang am 3. untern Knoten seine Stengelkante verlässt und unter die kathodischer Seits nächstfolgende Kante sich begibt. — Die Medianstränge haben nicht nur einen schiefen, sondern auch einen krummlinigen, bald nach rechts, bald nach links ausbiegenden Verlauf. Mit dieser Thatsache steht in Verbindung, dass die zwei gleichen Medianstränge in verschiedenen Internodien, oder was das nämliche ist, dass im gleichen Internodium die verschiedenen Medianstänge nicht die gleichen Entfernungen zeigen. Die Medianstränge des n^{ten} und $n-1^{\text{ten}}$ Blattes (wenn von oben nach unten gezählt wird) sind im n^{ten} Internodium um 141°, im $n+1^{\text{ten}}$ um 123° und im $n+2^{\text{ten}}$ um 103° von einander entfernt; ebenso stehen im n^{ten} Internodium der n^{te} und $n-1^{\text{te}}$ Medianstrang um 141° von einander ab, der $n-1^{\text{te}}$ und $n-2^{\text{te}}$ um 123°, der $n-2^{\text{te}}$ und $n-3^{\text{te}}$ um 103°. Es sind dies Mittelwerthe aus mehreren Messungen.

Der anodische Lateralstrang (VI, 14, c, f, i, m, p, s) steigt durch 2 Internodien hinunter, verschränkt sich am 2. Knoten mit dessen Blattspur, indem er zwischen den anodisch-lateralen und den Medianstrang hineintritt (m zwischen e und d, p zwischen h und g etc.). Er vereinigt sich dann sogleich mit dem kathodischen Axillarstrang dieses Knotens (m mit μ, p mit ν, s mit ξ), geht mit demselben vereintläufig durch 3 fernere Internodien und verschmilzt unter dem 5. Knoten mit dessen anodischem Axillarstrang und mit dem Medianstrang des 2. Knotens (s mit λ und k).

Der kathodische Lateralstrang (14, b, e, h, l, o, r) setzt sich am nächst untern Knoten an dessen anodischen Lateralstrang an (e an c, h an f, l an i etc.). Etwas über der Ansatzstelle gibt er ein schwaches Bündel ab (δ), welches mit dem genannten anodischen Lateralstrang sich verschränkt und auf der kathodischen Seite desselben nach unten geht. Gewöhnlich setzt es sich nach einem Weg von 2 Internodien im 3. untern Knoten an den Medianstrang des 2. obern Blattes an, (δ von r an x); zuweilen aber geht es eigenläufig noch tiefer im Stengel abwärts (δ von o).

Von den Axillargebilden steht der beblätterte Zweig gewöhnlich genau median, während die Ranke kathodisch von demselben sich befindet. Aus dem Zweig und der Ranke treten mehrere Stränge in den Stengel ein, indem sie sich in zwei Gruppen sondern, von denen die eine auf die linke, die andere auf die rechte Seite des Medianstranges sich begibt, und sogleich je zu einem einzigen Strang vereinigt, (VI, 14, λ, μ, ν, ξ, ϱ sind die Axillarstränge der 5 Knoten 0—4). Dicht unterhalb des Knotens setzt sich der anodische Axillarstrang an den Medianen des 3. obern Blattes (λ an k, μ an n etc.), der kathodische an den anodisch-lateralen des 2. obern Blattes an (λ an i, μ an m etc.).

Die Spurweite beträgt im eigenen Internodium im Mittel 151°, im erstuntern Internodium 124°.

Die untersuchten Zweige von Serjania mexicana hatten keine besondern Holzringe. Alle Gefässstränge sind durch den allgemeinen Cambiumring verbunden; allein sie zeigen sehr ungleiche Abstände vom Centrum, so dass der Holzring 5 stark vorspringende Ecken bildet (VII, 9; vgl. VI, 14, wo die Bezeichnung am Grunde die nämliche ist).

In den Ecken befinden sich die Spurstränge des eigenen (VII, 9, a, b, c) und des nächstobern Blattes (d, e, f); der kathodische Lateralstrang des letztern ist mit dem anodischen des erstern verwachsen (c e). Auf den Medianstrang (a) folgen anodischer Seits zunächst ein Axillarstrang des eigenen Knotens, (λ, hier noch getrennt), dann der anodisch-laterale Blattstrang des 5. obern Blattes (vereintläufig mit dem 3. obern Axillaren) und der Medianstrang des 3. obern Blattes; diese zwei Stränge sind nur dicht am Knoten getrennt, sie vereinigen sich sogleich mit einander (Fig. 9, k) und dann mit dem Axillarstrang; — kathodischer Seits ein Axillarstrang (λ, hier noch getrennt), dann der anodisch-laterale Strang des 2. obern Blattes (i), diese beiden Stränge vereinigen sich unter dem Knoten; — nachher und zwar ziemlich in der Mitte der Stengelseite das schwache Bündel, welches sich im 2. obern Knoten von dem kathodisch-lateralen Strang des 3. obern Blattes abzweigt, insofern dasselbe nicht im Knoten selbst sich an einen andern Strang angesetzt hat (δ). Der anodische Lateralstrang des eigenen Knotens (c), mit dem der kathodische des nächstobern (e) verschmolzen ist, wird kathodischer Seits gewöhnlich von dem kleinen Bündel, das sich von dem letztgenannten Strang oberhalb des Knotens abzweigt (δ in Fig. 9, hier bloss aus einem porösen Gefäss bestehend), anodischer Seits von dem Medianstrang des 6. obern Blattes, welcher mit einem axillaren des 3. obern Knotens vereintläufig ist (t), begleitet. Der kathodische Lateralstrang des eigenen Knotens (b) hat anodisch den 5. obern medianen (mit einem 2. obern axillaren vereintläufig, — q), kathodisch den 2. obern Medianen (g) und weiterhin den 4. obern anodisch-lateralen Blattstrang (mit einem 2. obern axillaren vereintläufig, — p) neben sich. Anodisch vom Medianstrang des nächst obern Blattes (d) befindet sich der 4. obere mediane (n), kathodischer Seits der 3. obere anodisch-laterale Blattstrang (m), der eine und der andere mit einem Axillarstrang des erstobern Knotens vereintläufig. Auf den anodischen Lateralstrang des nächstobern Blattes (f) folgt anodischer Seits der vereintläufige 7. obere Median- und 4. obere Axillarstrang (x), kathodischer Seits das Bündel, welches sich im erstobern Knoten von dem 2. obern kathodich-lateralen Blattstrang abzweigt ($\delta_{,,}$).

Serjania caracassana *Willd.*

(Taf. VIII, IX, X).

Laubtriebe. Ein Zweig aus dem Pariser-Garten, welcher zuerst untersucht wurde, verhielt sich folgender Massen. Das spärliche Material erlaubte keine ausreichende Untersuchung.

Der Medianstrang ist in seinem Internodium von dem Medianstrang des nächstobern Blattes um 141—155°, im Mittel aus 9 Messungen um $150\,{}^{2}/_{9}{}^{\circ}$ entfernt. Im nächstuntern Internodium wird der Abstand kleiner, er beträgt im Mittel von 5 Messungen $129\,{}^{1}/_{5}{}^{\circ}$. — Die Blattspur hat im eigenen Internodium eine durchschnittliche Weite von $144\,{}^{1}/_{2}{}^{\circ}$ (Mittel von 10 Messungen)

Der Medianstrang geht mitten in einer Stengelkante durch zwei Internodien. Am zweiten Knoten kommt er innerhalb dessen anodischen Seitenstrangs zu liegen und begleitet denselben kathodischer Seits durch ein Internodium; nicht selten fasst er ihn, indem er am 2. Knoten sich in zwei Schenkel spaltet, zwischen sich. Am drittuntern Knoten wendet sich der ungetheilte Medianstrang oder dessen kathodischer Schenkel (der auch in der Regel der stärkere ist) zu dem dort in den Stengel eintretenden Medianstrang (des 3. untern Blattes), an dessen anodischer Seite er herabsteigt, um sich, wie es scheint, schliesslich mit ihm zu vereinigen.

Der anodisch-laterale Blattstrang steigt mitten in einer Stengelkante durch 2 Internodien hinab, und begleitet vom 2. Knoten an den Medianstrang des letztern, auf dessen kathodischer Seite er sich befindet, und an den er sich wahrscheinlich abwärts anlegt.

Der kathodisch-laterale Blattstrang befindet sich in seinem Internodium mitten in einer Stengelkante; am nächsten Knoten theilt er sich in zwei Schenkel, welche den dortigen anodischen Foliarstrang zwischen sich fassen, und in dieser Weise durch 2 Internodien nach unten begleiten. Es kann aber auch der eine Schenkel auf die kathodische Seite des genannten anodischen Blattstrangs, der andere auf die anodische Seite des Medianstrangs der nämlichen Spur zu liegen kommen. Zuweilen vereinigt sich der ungetheilte kathodische Foliarstrang am nächstuntern Knoten mit dessen anodischem Blattstrang.

Die Stengelinternodien sind 5kantig. Innerhalb 3 Kanten liegen die 3 Stränge der eigenen, innerhalb der beiden andern der mediane und anodisch-laterale Blattstrang der erstobern Spur. Jeder dieser 5 Stränge ist meistens von 2 schwächern Strängen begleitet, welche rechts und links liegen, und theils höheren Blattspuren (gemäss dem vorhin angegebenen Verlauf), theils auch, insofern es den Mediannerv betrifft, den Axillargebilden des gleichen Blattes angehören. Diese schwächern Stränge befinden sich nie auf dem nämlichen Kreis mit dem stärkern, den sie begleiten; sondern immer mehr oder weniger einwärts von demselben. Der allgemeine Cambiumring bildet daher ausspringende Winkel, von denen einzelne zu tiefen Falten sich gestalten, auch als besondere Ringe sich ablösen können. Der nämliche Zweig zeigt hier bloss einen einfachen Holzring, dort überdem 1 bis 3 besondere Ringe. Zu dieser abnormalen Bildung sind besonders diejenigen Kanten, welche die lateralen Stränge der eigenen Blattspur bergen, geneigt. Zuweilen findet man oben im Internodium eine Falte des allgemeinen, unten einen besondern Holzring. In dem letztern nimmt der grosse Strang der Ecke die äussere, die beiden schwächern ihn begleitenden Stränge die innere Seite ein.

Die nämliche Pflanze aus dem Münchner-Garten gab etwas abweichende Resultate. Ueberdem erlaubte ein reichlicheres Material eine vollständigere Untersuchung.

Der Querschnitt durch die Terminalknospe zeigt gleichzeitig die 7 obersten Blattanlagen; das Mittel der Divergenzen beträgt 137°. — Die ausgebildeten Zweige besitzen 7 Längsfurchen, welche ebensoviele, wenig vorspringende Rippen von ungleicher Breite von einander trennen (IX, 5); eine dieser Rippen ist breiter als alle übrigen und durch eine sehr leichte Furche halbirt, welche im nächstobern Internodium in eine der 7 deutlichen Furchen übergeht. Der Zweig hat somit in Wirklichkeit 8 Rippen, von denen die vom Rücken eines Blattes herabsteigende auf die Mitte des 8. untern Blattes trifft. Nach dieser äussern Blattspur beurtheilt, beträgt die Divergenz der Blattspirale $^3/_8$, wenn man die ungleiche Breite der Rippen nicht berücksichtigt. Es hat also während der Ausbildung des Sprosses kaum eine merkbare Drehung stattgefunden.

Der Medianstrang der Blattspur (VIII, a, d, g, k, n, q, t, x, α) geht durch 3 Stengelinternodien nach unten und vereinigt sich am 3. untern Knoten mit dessen anodischem Axillarstrang (k mit ε, n mit η, x mit ν, etc.). Vereintläufig mit demselben begleitet er den Medianstrang des gleichen (3. untern) Knotens durch 3 fernere Internodien (z. B. xν neben n), und tritt am 6. untern Knoten zu dessen anodisch-lateralem Blattstrang (z. B. xν zu f), läuft durch 2 Internodien neben demselben und geht vom 8. untern Knoten an neben dessen kathodisch-lateralem Foliarstrang noch eine Strecke weit abwärts, um sich dann mit einem in der Nähe befindlichen Strang (wohl gewöhnlich mit dem anodisch-lateralen Blattstrang der 6. untern Spur) zu vereinigen (so setzt sich der Strang ρσ, mit dem der Mediane des 9. Knotens vereinigt ist, an m an; ρφ dagegen, in welchem der Medianstrang des 10. Knotens enthalten ist, an den Axillarstrang ϑ).

Der Medianstrang ist in seinem Internodium von dem Medianstrang des nächstobern Blattes ungleich weit entfernt; das Mittel von 7 Messungen in verschiedenen Internodien des nämlichen Sprosses gab einen Abstand von 136°; in einem andern Spross betrug er im Mittel von 3 Internodien 141°, und in einigen andern Zweigen ergab sich ein durchschnittlicher Abstand von 150°. Die Entfernung eines Medianstranges von demjenigen der nächstobern Spur im erstuntern Internodium betrug im Mittel von 7 Messungen in verschiedenen Internodien des nämlichen Sprosses $123^1/_2$° und im Mittel von 3 Internodien eines andern Sprosses $124^1/_2$°. Diese ungleichen Abstände stehen in Verbindung mit der Thatsache, welche auch durch anderweitige Messungen constatirt wird, dass die Medianstränge eine krummlinige (hin- und hergebogene) Richtung einschlagen, und dass die Biegungen höher oder tiefer eintreten können. Bei dem grössern Abstand von 150° kommt der Medianstrang am zweituntern Knoten in die Nähe des dort eintretenden kathodisch-lateralen Blattstranges, und giebt auch wohl einen Zweig ab, der denselben begleitet. Bei dem kleinern Abstand von 136° ist diess nie der Fall; er bleibt immer ziemlich weit von dem genannten Strange entfernt. — In jedem Falle setzt sich der Medianstrang (ganz oder mit seiner grössern Masse) im dritten Knoten an den dortigen anodischen Axillarstrang an. Dieser ist von dem Medianstrang der eigenen Spur durchschnittlich um 13° entfernt. Hätten die Medianstränge je in den 3 obersten Internodien, durch die sie hinabsteigen, einen vertikalen Verlauf, so betrüge die Divergenz der Blätter

$\frac{360+13}{3} = 124\frac{1}{3}°$. Die innere Blattspur weicht also von der äussern auf die Länge eines jeden Internodiums um $10\frac{1}{3}°$ ab und zwar nach der kathodischen Seite.

Der anodisch-laterale Foliarstrang (VIII, c, f, i, m, p, s, v, z, γ) geht, einfach oder in zwei nebenläufige Stränge geschieden (Letzteres bei i, p, s), durch 2 Internodien hinunter, biegt im zweituntern Knoten kathodisch aus, wobei er, wenn er in zwei getrennt war, wieder zum einfachen Strang wird, und begleitet nun den kathodisch-lateralen Blattstrang des genannten Knotens durch 3 Internodien abwärts (z. B. p neben h, v neben o), indem er kathodisch und einwärts von demselben liegt, und zuletzt sich wahrscheinlich an denselben anlegt. Ausnahmsweise unterbleibt die Vereinigung der beiden Schenkel, wobei der eine mit einem Axillarstrang verschmelzen kann (s,, mit ϰ, während s, den gewöhnlichen Verlauf hat).

Der kathodisch-laterale Foliarstrang (VIII, b, e, h, l, o, r, u, y, β) steigt, ebenfalls bald einfach bald in zwei nebenläufige Stränge getrennt (Letzteres bei e, h, o), durch 3 Internodien abwärts, tritt im drittuntern Knoten zwischen dessen Spurstränge ein, und vereinigt sich bald mit dem anodischen, bald auch, wie es scheint, mit dem kathodischen Axillarstrang (o,, mit ζ, r mit ι, u mit λ, y mit ν). Seltener geht der eine Schenkel an einen Blattstrang (o, an m).

Die Stränge der Axillargebilde (Ranke und Laubzweig) sammeln sich wie gewöhnlich in zwei, von denen einer rechts, der andere links vom Medianstrang sich befindet. Der anodische Axillarstrang (VIII, ε, η, ι, λ, ν, π, σ, φ) begleitet den letztern durch 3 Internodien, wendet sich dann von ihm ab, indem der anodisch-laterale Blattstrang der drittuntern Spur zwischen sie tritt, und läuft nun anodisch und einwärts von dem letztern durch 2 folgende Internodien (z. B. ν neben f, π neben i). Er begleitet denselben auch in das fünftuntere Internodium, wo er sich mit ihm vereinigt (σ mit m), oder er wendet sich anodisch von demselben ab, tritt in die Spur des 5. Knotens ein und setzt sich an dessen kathodisch-lateralen Axillarstrang an (φ an ϑ). — Der kathodische Axillarstrang (VIII, δ, ζ, ϑ, ϰ, μ, ξ, ϱ, τ) geht ebenfalls durch 3 Internodien mit dem Medianstrang nach unten (ϑ neben g), um sich dann, wie es scheint, mit demselben zu vereinigen. Da die Axillarstränge nicht bloss neben, sondern auch einwärts vom Medianstrang liegen, so kommt es häufiger vor, dass sie sich einander nähern, und mit einander verschmelzen (ϰ mit λ, μ mit ν, ξ mit π). Diess geschieht dann, wenn sie mit dem Medianstrang einen besondern Holzring bilden. Der vereinigte Axillarstrang verhält sich in diesem Falle wie es für den anodischen bereits angegeben wurde.

Die Blattspur hat im eigenen Internodium eine durchschnittliche Weite von 123° (Mittel von 6 verschiedenen Internodien). Sie verengert sich nach unten; im nächsten Internodium beträgt sie im Mittel 106°. Die Verschiedenheiten im Strangverlauf zwischen der Pflanze aus dem Pariser und derjenigen aus dem Münchner Garten rühren vorzüglich von der ungleichen Blattspurweite her. Bei jener beträgt sie nach dem Eintritt in den Stengel im Mittel $144\frac{1}{2}°$, bei dieser 123°. Demzufolge trifft bei jener der Medianstrang ziemlich genau auf den zweituntern kathodischen Foliarstrang, der kathodische Foliarstrang trifft auf den erstuntern anodischen, der anodische auf den zweituntern medianen, was Alles bei der Münchner Pflanze nicht statt hat. Der abweichende Blattspurverlauf hat auch eine verschiedene Ausbildung der besondern Holzringe zur Folge; — und es wäre wohl möglich, dass die beiden Pflanzen nicht der gleichen Art angehörten.

Der Querschnitt durch das entwickelte Internodium zeigt 5 besondere Holzringe und eine vorspringende Falte des allgemeinen (IX, 1), oder 4 besondere Ringe und 2 Falten (Fig. 6), seltener 4 besondere Ringe und nur eine Falte (Fig. 2) oder 3 Ringe und 3 Falten (Fig. 11). Die eine Falte des allgemeinen Holzringes gehört immer dem Medianstrang der eigenen Blattspur an, welcher sich in der Mitte des Vorsprungs befindet (Fig. 1, k; 2, g; 5 und 6, d; 11, a); im Hals liegen 2 Stränge, nämlich die eigenen Axillarstränge, mit denen Stränge höherer Spuren vereinigt sind, einander gegenüber (1, η; 2, ζ; 5 und 6, ε; 11, δ, und δ,,), häufig so sehr genähert, dass die beiderseitigen Cambiformbündel in Ein Bündel verschmelzen. Ist eine zweite Falte des allgemeinen Holzringes vorhanden, so steht sie von der ersten um 130—150° ab, und zeigt aussen in der Mitte den Medianstrang der erstobern Spur (Fig. 5 und 6, g; 11, d), und zu beiden Seiten nach einwärts die Axillarstränge derselben (5 und 6, ζ; 11, ε, und ε,,). Wenn eine dritte Falte beobachtet wird, so enthält sie in gleicher Weise den Medianstrang und die Axillarstränge der zweitobern Spur (11, g und ζ). Sind statt der zweiten und dritten Falte des allgemeinen Holzringes besondere Ringe vorhanden, so befinden sich die beiden Axillarstränge an ihrer innern Seite, dem medianen opponirt, und sind meist mit einander verschmolzen (so n—ϑ in Fig. 1, ferner k—η in Fig. 2 statt der zweiten Falte; q—ι in Fig. 1, ferner k—η in Fig. 5 statt der dritten Falte). Von den übrigen besondern Holzringen hat der eine an seiner äussern Seite den (ungetheilten oder getheilten) kathodischen Blattstrang der eigenen Spur (Fig. 1, l; 2, h; 5 und 6, e; 11, b), — der andere den (ungetheilten oder getheilten) anodischen Blattstrang der eigenen (Fig. 1, m; 2, i; 5 und 6, f; 11, c) und den (ungetheilten oder getheilten) kathodischen Blattstrang der erstobern Spur (Fig. 1, o; 2, l; 5 und 6, h, 11, e), — der dritte den anodischen Blattstrang der erstobern (Fig. 1, p; 2, m; 5 und 6, i; 11, f) und den kathodischen der zweitobern Spur (Fig. 1, r; 2, o; 5 und 6, l; 11 h), den einen und andern entweder ungetheilt oder getheilt. An der innern Seite dieser 3 besondern Holzringe befinden sich Stränge, die höhern Blattspuren angehören. Der erste Ring kann mit dem, welcher ihm kathodisch zunächst liegt, vereinigt sein; dann hat er an seiner äussern Seite den eigenen kathodischen Foliarstrang und den zweitobern medianen (Fig 2, h – n). Ferner kann der dritte besondere Holzring in zwei getrennt sein; dann befindet sich an der äussern Seite des einen Ringes der erstobere anodische und in dem andern der zweitobere kathodische Blattstrang.

Verfolgen wir die Gefässstränge mit Rücksicht auf ihr Verhältniss zum allgemeinen und zu den besondern Holzringen, so ergiebt sich Folgendes. Der Medianstrang befindet sich im eigenen Internodium immer mitten in einer Ausfaltung des allgemeinen Holzringes, und es kann diese Ausfaltung auch noch durch die

2 folgenden Internodien sich fortsetzen (g in Fig. 2, 5 und 11 und auf Taf. VIII). Gewöhnlich aber schnürt sie sich höher oder tiefer (oben oder in der Mitte des erst- oder zweituntern Internodiums) als besonderer Holzring ab, in dessen äusserer Mitte sich der Medianstrang befindet (k in Fig. 1 und 2; q, n, k auf Taf. VIII). Dieser besondere Holzring vereinigt sich, wie bereits bemerkt wurde, zuweilen im zweituntern Internodium mit demjenigen, welcher anodischer Seits neben ihm liegt und den kathodischen Foliarstrang der zweituntern Spur enthält. Am drittuntern Knoten endigt die dem Medianstrang angehörende Ausfaltung oder sein besonderer Holzring, und der Medianstrang geht nach innen, um sich mit einem Axillarstrang zu vereinigen; von hier an befindet er sich im Hals einer Ausfaltung vom allgemeinen oder auf der innern Seite eines besondern Holzringes.

Der kathodische Foliarstrang liegt nach seinem Eintritt in den Stengel an der äussern Seite eines besondern Holzringes, welcher im erstuntern Internodium sich in den besondern Ring des dortigen anodischen Blattstranges (l in Fig. 1 und 2) fortsetzt. Der kathodische Foliarstrang geht an der äussern Seite dieses besondern Ringes durch das 1. und 2. untere Internodium (l in Fig. 2 und 3), biegt am 3. untern Knoten einwärts und begibt sich in den Hals einer Ausfaltung des allgemeinen Holzringes, wo er sich mit einem Axillarstrang vereinigt oder neben demselben hinabsteigt (l in Fig. 10 und 11; vgl. Taf. VIII). Es kann auch eine Partie an die innere Seite eines besondern Holzringes treten, wo sie sich mit andern Foliarsträngen vereinigt (o, auf Taf. VIII).

Der anodische Foliarstrang befindet sich von seinem Eintritte in den Stengel an durch 2 Internodien auf der äussern Seite eines besondern Holzringes (m in Fig. 1 und 2), welcher am 2. untern Knoten sich in den besondern Ring des dortigen kathodischen Blattstranges fortsetzt. Von hier an liegt er durch 3 Internodien an der innern Seite des besondern Holzringes (m in Fig. 5 und 11) und tritt dann in den allgemeinen ein.

Wenn man die besondern Holzringe auf ihrem Laufe von oben nach unten betrachtet, so findet man, dass an jedem Knoten immer diejenigen in den allgemeinen Ring sich öffnen, welche sich auf der Seite der aus dem Blatt in den Stengel eintretenden Stränge befinden, somit diejenigen, welche dem 3. obern medianen, dem 2. obern anodischen und dem nächstobern kathodischen Foliarstrang entsprechen. Unverändert am Knoten geht vorbei der besondere Holzring, welcher den 1. obern anodischen und den 2. obern kathodischen Foliarstrang enthält, und derjenige des 2. obern Medianstranges (insofern letzterer Strang in einem besondern Holzring und nicht in einer Falte des allgemeinen sich befindet). — Fig. 2 zeigt den Querschnitt über einem Knoten, Fig. 5 unter demselben, Fig. 3 und 4 Schnitte durch den Knoten. Man sieht, dass die beiden besondern Ringe, in denen sich die Stränge k und l—i befinden, unverändert vorbeigehen; dass dagegen die Ringe, welche die Stränge m—o und h—n in Fig. 2 enthalten, sich in den allgemeinen Ring öffnen und dabei neue Stränge aufnehmen. — In gleicher Weise stellt Fig. 6 den Querschnitt über, und Fig. 11 unter einem Knoten, Fig. 7, 8, 9, 10 Schnitte durch denselben dar. Zuerst öffnet sich in Fig. 7 der besondere Ring, in welchem die Stränge l—i befindlich sind. In Fig. 8 sind alle besondern Ringe mit dem allgemeinen vereinigt, mit Ausnahme desjenigen mit den Strängen f—h. Dieser ist der einzige, welcher unversehrt am Knoten vorbeizieht; denn der andere Complex von Strängen (g—ζ), welcher ebenfalls nicht affizirt wird, bildet hier nicht einen besondern Ring sondern eine Falte des allgemeinen. — Verfolgen wir irgend einen besondern Ring von einem Knoten aus, an dem er ungeöffnet vorbeizieht, nach unten, so finden wir, dass er an den 2 folgenden Knoten sich mit dem allgemeinen Ring verbindet, am dritten nicht, und dass sich diess abwärts immer wiederholt.

An der Stelle, wo sich die besondern Holzringe in den allgemeinen öffnen, treten Stränge ihrer innern Seite oder Theile derselben in den allgemeinen Ring ein. Auch da, wo die von der Mitte eines Blattes herabsteigende Ausfaltung des allgemeinen Ringes sich abschnürt, um einen besondern Ring zu bilden, theilen sich die Axillarstränge, die im Hals der Ausfaltung liegen, gewöhnlich je in zwei Schenkel, von denen die äusseren in den besondern, die innern in den allgemeinen Holzring übergehen.

Die Gefässstränge haben im Allgemeinen einen radialschiefen, von oben und aussen nach unten und innen gerichteten Verlauf. Wir können 3 verschiedene Abstände derselben vom Centrum des Stengels unterscheiden: 1) die äussere Seite der besondern Holzringe oder der Ausfaltungen des allgemeinen, 2) die innere Seite der besondern Holzringe oder der Hals der Ausfaltungen des allgemeinen Ringes, 3) der allgemeine Holzring mit Ausschluss seiner Ausfaltungen. Wenn wir nun jedes Internodium einen Schritt nennen und die Spurstränge von ihrem Eintritte in den Stengel an abwärts verfolgen, so macht der Medianstrang zuerst 3 Schritte in der äussern, dann 3 Schritte in der mittlern Stellung, um zuletzt in die innere sich zu begeben. Der kathodische Blattstrang bleibt ebenfalls 3 Schritte in der äussern, dann 3 in der mittleren Stellung, ehe er in die innere eintritt. Der anodische Blattstrang befindet sich während der ersten 2 Schritte in der äussern, dann während 3 Schritten in der mittleren Stellung. Alle die genannten Stränge bleiben häufig, sei es ganz, sei es theilweise, länger in der mittleren Stellung, als eben angegeben wurde, und treten also erst weiter abwärts in den allgemeinen Ring ein. Die Axillarstränge sind von Anfang an in der mittlern Stellung und bleiben theilweise durch 5 und mehr Internodien in derselben, um zuletzt ebenfalls in die innere Stellung sich zu begeben.

Serjania spec.

(Taf. VI. 17).

Laubzweige (trocken, aus Brasilien, mitgetheilt von Herrn v. Martius.) Um den allgemeinen Holzring liegen 8 besondere Ringe. Von dem letztern können 1 oder auch 2 bloss als Falten des allgemeinen Ringes vorhanden sein (Fig. 17); sie entsprechen dem eigenen und dem nächstobern Medianstrang. Es kommt auch vor, dass ein oder zwei neben einander liegende besondere Holzringe mit dem allgemeinen so vereinigt sind, dass sie nicht einmal als Falten besonders stark vorspringen.

In jedem besondern Holzringe befinden sich 1 oder auch 2 äussere und ebenso 1 oder 2 innere Gefässstränge. Der Verlauf derselben wurde nicht verfolgt; allein die Analogie mit andern Sapindaceen, namentlich mit Serjania caracassana lässt mehrere Punkte sicher oder mit grosser Wahrscheinlichkeit entscheiden. Die Kante, welche von der Mitte des eigenen Blattes herabsteigt, wird durch eine Ausfaltung des allgemeinen Holzringes gebildet; sie enthält an der äussern Seite den Medianstrang (a), einwärts die beiden Axillarstränge der eigenen Spur. Der Medianstrang der 1. obern Spur (d) bildet einen besondern Ring, an dessen innerer Seite sich die beiden zugehörigen Axillarstränge in einem einzigen verschmolzen befinden. In gleicher Weise stellt der Medianstrang der 2. obern Spur (g) und der ihm opponirte vereintläufige Axillarstrang einen besondern Ring dar. In den übrigen besondern Holzringen nehmen laterale Foliarstränge die äussere Seite ein: in den beiden der Ausfaltung (a) zunächst liegenden die beiden seitlichen Blattstränge der eigenen Spur (b und c), in den andern die Stränge der 1. obern (e und f) und der kathodische der 2. obern Spur (h). An der innern Seite dieser besondern Holzringe befinden sich, ausser dem anodisch-lateralen Strang der zweitobern Spur, die Foliar- und Axillarstränge der nächst höhern Spuren. In dem allgemeinen Ring sind einige Stränge bemerkbar, welche noch höhern Blättern angehören.

Die vorliegende Serjania unterscheidet sich demnach von Serjania caracassana vorzüglich dadurch, dass der besondere Ring, welcher bei letzterer anodisch neben dem eigenen Medianstrang (IX, 1, m—o) und derjenige, welcher anodisch neben dem 1. obern Medianstrang liegt, (IX, 1, p—r), bei der erstern je in 2 besondere Ringe zerfallen ist (VI, 17, c und e, f und h).

Erklärung der Tafeln I—X.

Die in ( ) eingeschlossenen Zahlen geben die Vergrösserung an. Alle Querschnitte sind mit der Camera lucida oder mit dem Sömmering'schen Spiegelchen gezeichnet.

Taf. I. Cardiospermum inflatum *Arrab.*

1. Schematische Darstellung des Strangverlaufs in einem Zweigende, auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; sie wurde nach successiven Querschnitten ausgeführt, von denen zwei in Fig. 5 und 6 gezeichnet sind. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, $\alpha\beta\gamma$ die successiven 3strängigen Blattspuren; von der obersten Spur ist erst der Medianstrang δ angelegt. Die beiden Axillarstränge sind nur in den beiden untersten Knoten (bei abc, und def) gezeichnet; sie waren auch in den 5 folgenden Knoten (bei ghi, klm, nop, qrs und tuv) vorhanden.

2. Schematische Darstellung des Strangverlaufes durch einen Knoten, auf der eben gelegten Cylinderfläche, von innen gesehen; sie wurde nach successiven Querschnitten ausgeführt. abc die Stränge der eigenen. def der nächst obern Blattspur; die übrigen Bezeichnungen entsprechen ebenfalls denjenigen von Fig 1; R die Stränge der Ranke, A diejenigen der Laubknospe. — Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch das untere, Fig. 7 einen solchen durch das obere Internodium, jener etwas unterhalb, dieser etwas oberhalb des in Fig. 2 dargestellten Strangverlaufs, mit gleicher Bezeichnung.

3. Schematische Darstellung des Strangverlaufes durch einen Knoten, auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. Bezeichnung wie in Fig. 1 und 2.

4 (15). Querschnitt durch das Internodium unter dem Knoten, dessen Strangverlauf in Fig. 2 dargestellt ist. Die Stränge sind die nämlichen wie an dem untern Rande dieser Figur, nur dass sich p und g jetzt vereinigt haben. Die Bezeichnung stimmt mit Fig. 2 und 1 überein.

5 (40). Querschnitte durch das abwärts 7. gefässführende Internodium des Stengelendes, dessen Strangverlauf in Fig. 1 dargestellt ist, dicht unter dem Knoten klm dieser Figur. klm die Stränge der eigenen Blattspur; ax, ax die beiden eigenen Axillarstränge, die sich noch nicht mit dem nächstliegenden (t und s) vereinigt haben.

6 (20). Querschnitt durch ein älteres Internodium des Zweiges, von dessen Ende der Strangverlauf in Fig. 1 dargestellt ist. Die Bezeichnung ist so durchgeführt, das abc die eigene, def die 1. obere Blattspur bedeutet u. s. f. wie in Fig. 1. Die Anordnung der Stränge entspricht derjenigen am untern Rande von Fig. 1, mit der einzigen Ausnahme, dass neben f sich ein schwacher Strang x befindet, welcher der 7. obere Mediane mit abnormalem Verlaufe ist.

7 (15) Querschnitt durch das Internodium über dem Knoten, dessen Strangverlauf in Fig. 2 dargestellt ist. Die Stränge sind die nämlichen wie an dem obern Rande dieser Figur, nur dass g und q, f und h, ax (der eine zu d gehörende Axillarstrang) und m noch getrennt sind. Die Bezeichnung stimmt mit Figur 2 und 1 überein.

Taf. II. III. Urvillea ferruginea *Lindl.*

Fig. 1, 2. Schematische Darstellung des Strangverlaufes auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. Fig. 2 zeigt die Blattspurstränge des ganzen Zweigendes, mit Ausschluss der Axillarstränge; in Fig. 1 ist eine untere Partie dieser Zeichnung mit den Axillarsträngen dargestellt, und alle Stränge der 3 untern Knoten nach oben verfolgt, bis da, wo sie den Stengel verlassen. — Die ausgezogenen Stränge liegen in dem allgemeinen Holzring, die punktirten an der äussern, die gestrichelten an der innern Seite der besondern Holzringe 0, 1 .... 13 die Stengelknoten; a, b, c die 3 Blattstränge; n, o die beiden Schenkel, in welche sich c spaltet. v die Stränge für die Ranke, x diejenigen für die Laubknospe. — Die Bezeichnung am untern Rande von Fig. 1 stimmt mit derjenigen von Fig. 5 und 11 überein, die von Fig. 2 mit derjenigen von Fig. 4, 5 und 11.

3 (40). Querschnitt durch die Terminalknospe des Zweiges, dessen Strangverlauf in Fig. 2 dargestellt ist. 12 und 13 die beiden jungen Blätter, welche an den Knoten 12 und 13 in Fig. 2 inserirt sind, jedes mit seinem Medianstrang; 14 und 15 die beiden folgenden Blattanlagen. 13, 14 und 15 haben jedes die beiden Nebenblätter neben sich. 16 Höcker, aus dem sich das nächstfolgende Blatt erheben wird.

4 (20). Querschnitt durch das abwärts 7. gefässführende Internodium eines Zweiges (Fig. 2 unterhalb des mit 7 bezeichneten Knotens). a, b, c die eigene Blattspur; die Bezeichnung ist im Uebrigen die nämliche wie am Grunde von Fig. 2. — t Basis des Blattstieles (der am Knoten 6 in Fig. 2 inserirt ist). u, u die beiden Nebenblätter, jedes mit einem Gefässbündel; das rechte Nebenblatt ist mit dem Blattstiel verwachsen. v die Ranke mit 4 Strängen, dem Blattstiel angewachsen. x die Laubknospe, noch ohne Gefässe, mit dem Blattstiel und der Ranke verwachsen.

5 (40). Querschnitt durch das abwärts 10. gefässführende Internodium des in Fig. 1 und 2 dargestellten Zweiges (unterhalb des Knotens 4 in Fig. 2). a, b, c die eigene Blattspur; die Bezeichnung stimmt genau mit der am Grunde von Fig. 1 und 2 befindlichen. y Bastring.

6 (66). Querschnitt durch den abwärts 3. gefässführenden Knoten eines Zweiges (entsprechend 11 in Fig. 2). a, b, c die in den Stengel eintretende Spur des eigenen Blattes. f erstoberer, l zweitoberer Medianstrang. h Cambiumstrang, in welchem der anodische Gefässstrang für das erstobere Blatt sich bilden wird. y Bastring.

7. Blattstellung auf der ebengelegten Cylinderfläche nach der Divergenz $^3/_8$, welche in der Terminalknospe beobachtet wird, ausgeführt. 0, 1 . . . 8 die successiven Blattinsertio-

nen. b, c, d die 3 Stengelkanten, welche erst durch eine Drehung des Stengels eine senkrechte Richtung erhalten.

8. Schematische Darstellung der Vereinigungen, welche zwischen dem allgemeinen (a) und den besondern Holzringen (b, c, d) stattfinden; vgl. Pag. 52.

9. Schematische Darstellung des Eintrittes der Blattstielstränge k, l, m, n, o, p, q, r und der Nebenblattstränge f, h in den Stengel und Bildung der Blattspurstränge a, b, c, vgl. Pag. 50.

10 (14). Querschnitt durch den Grund eines Blattstieles k, l, m, n, o, p, s, t die durch einen Cambiumring verbundenen Gefässstränge; q, r die beiden extraannulären Stränge auf der dem Stengel zugekehrten Seite

11 (14). Querschnitt durch das abwärts 12. gefässführende Internodium des in Fig. 1 und 2 dargestellten Zweiges, dicht unter dem Knoten 2 von Fig. 1 und 2. a, b, c die eigene Blattspur; p, q die eigenen Axillarstränge. Die Bezeichnung stimmt genau mit der am Grunde von Fig. 1 und 2 überein.

12—16 (14). Querschnitte durch einen Knoten, um die Veränderungen in dem besondern Holzring, der hier mit dem allgemeinen sich verbindet, zu zeigen. h, i die beiden Stränge des besondern Ringes; f, g die nämlichen Stränge des allgemeinen Ringes wie diejenigen mit der gleichen Bezeichnung in Fig. 11; y Bastring; z Protenrinde: α Epenrinde; β allgemeiner Cambiumring und dessen jüngste Producte; γ Holzring; δ Markscheide; ε besonderer Cambiumring. — 12 dicht über dem Eintritt der Blattstränge in den Stengel — 13 der besondere Holz- und Cambiumring hat sich mit dem allgemeinen vereinigt. — 14 der Bastring hat sich geöffnet, um den Foliarstrang eintreten zu lassen. — 15 ein Theil des frühern besondern Holzringes hat sich wieder vom allgemeinen abgelöst. Der Foliarstrang b ist im Begriff, durch die in dem Bastringe gebildete Oeffnung einzutreten. — 16 der Bastring hat sich wieder geschlossen und der Foliarstrang b vereinigt sich mit dem besondern Holzring. — Vgl. übrigens, was die Gefässbündel betrifft, den Text (Pag. 53).

Taf. IV, V, IV, Fig. 1—13. Paullinia spec.

1 (260). Querschnitt durch ein 0,9 M.M. dickes Internodium der Zweigspitze. Die gezeichnete Partie entspricht der Seite α von Fig. 6. k, t, s die nämlichen Gefässstränge wie in Fig. 6; μ Protenrinde; ν Protenmark; ψ Markscheide. ξ Cambiumring, von dem man kaum die äussere in Bast übergehende Partie ϱ unterscheidet.

2 (260). Querschnitt durch das nächstuntere 1,4 M.M. dicke Internodium. Das gezeichnete Stück entspricht einem einspringenden Winkel (wo sich also keine Gefässstränge befinden). μ Protenrinde; ν Protenmark; ξ Cambiumring; ϱ junger Bast; σ Epenrinde; ψ Markscheide.

3 (260). Querschnitt durch das gleiche Internodium wie Fig. 2. Das gezeichnete Stück entspricht der von dem eigenen Blatte herabsteigenden Mediankante. g, p, q die drei Gefässgruppen dieser Kante mit den kleinmaschigen Cambiformsträngen. μ Protenrinde; ϱ junger Bast; σ Epenrinde; ξ Cambiumring; unterhalb desselben die Markscheide ψ.

4 (50). Querschnitt durch das abwärts 2. gefässführende Internodium eines Zweiges, von 0,55 M.M. Dicke. α, β, γ die Kanten und die Stränge der eigenen (äussern und innern) Blattspur. α^1 die Mediankante mit dem Medianstrang der 1. obern Spur; γ^1 die anodische Seitenkante derselben; α^2 die Mediankante der 2. obern Spur (vgl. Fig. 7). Ausser den Gefässsträngen erkennt man das Protenmark und die Protenrinde als ein schwach grünliches Gewebe, zwischen beiden den farblosen Cambiumring.

5 (40). Querschnitt durch ein 2,3 M.M. dickes und 80 M.M. langes Internodium. Die Bezeichnung der Kanten α, β, γ, α^1, γ^1, α^2 ist die nämliche wie am Grunde von Fig. 7. Die Bezeichnung der Stränge stimmt mit derjenigen am Grunde von Fig. 13 überein. α, β, γ und a, b, c Kanten und Stränge der eigenen Blattspur; ζ und η schwache Stränge von ungewöhnlichem Verlauf. — ϱ Bastring; ausserhalb desselben die Protenrinde; σ Epenrinde; ξ Cambiumring; ψ Markscheide; innerhalb derselben das Protenmark.

6 (50). Querschnitt durch das abwärts 5. gefässführende Internodium eines Zweiges,

von 0,9 M.M. Dicke. Die Bezeichnung der Kanten ($\alpha, \beta, \gamma, \alpha^1, \gamma^1, \alpha^2$) ist die gleiche wie am Grunde von Fig. 7. Die Stränge sind mit den gleichen Buchstaben benannt, wie in Fig. 13. α, β, γ und k, l, m die Kanten und Stränge der eigenen Blattspur; ρ junger Bastring; ausserhalb desselben die Protenrinde; ξ Cambiumring; innerhalb desselben das Protenmark.

7. Schematische Darstellung des Verlaufes der Stengelkanten auf der eben gelegten Cylinderfläche, von aussen gesehen. 0, 1, 2, 3, 4, 5 die 6 Stengelknoten; α, β, γ die 3 von einem Blatt herabsteigenden Kanten. Die Bezeichnung am Grunde stimmt mit derjenigen der Querschnitte in Fig. 4, 5, 6, 10 überein. δ Ranke; ε Laubzweig

8 (260). Stück des in Fig. 5 dargestellten Querschnittes; derselbe ist von der linken Seite dieser Figur zwischen f und g, und somit als ein älteres Stadium der Fig. 2 zu betrachten. μ Protenrinde; ν Protenmark; ξ Cambiumring; ρ Bast; σ Epenrinde, ψ Markscheide.

9 (100). Ein Stück des in Fig. 11 dargestellten Querschnittes. μ Protenrinde; ξ Cambiumring; ρ Bastring; σ äussere ungeordnete Epenrinde; τ innere Epenrinde, undeutlich in radiale Reihen geordnet; φ Anfang der Peridermbildung (?); ω Holz.

10 (40). Querschnitt durch ein 1,8 M.M. dickes und 38 M.M langes Zweiginternodium. Die Bezeichnung der Kanten ($\alpha, \beta, \gamma, \alpha^1, \gamma^1, \alpha^2$) ist die nämliche wie am Grunde von Fig. 7. Die Bezeichnung der Stränge stimmt mit derjenigen am Grunde von Fig 13 überein. Die Abweichung besteht nur darin, dass e sich noch nicht mit c vereinigt hat. α, β, γ und a, b, c Kanten und Stränge der eigenen Blattspur.

11 (14). Querschnitt durch ein älteres, 4½ M.M. dickes Internodium (ein Stück davon ist in Fig. 9 stärker vergrössert). μ Protenrinde; ν Protenmark; ξ Cambiumring; ρ Bastring; σ äussere ungeordnete Epenrinde; τ innere, undeutlich in radiale Reihen geordnete Epenrinde; ψ Markscheide; ω Holzring.

12 (400). Querschnitt durch ein 2,9 M.M. dickes Internodium; das gezeichnete Stück entspricht einem einspringenden Winkel (wie Fig. 2 und 8). ξ Cambium; ρ Bast; σ Epenrinde; ψ Markscheide

13. Schematische Darstellung des Strangverlaufes eines Zweigendes auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s, t u v die successiven 3strängigen Blattspuren; von der obersten Spur ist erst der Medianstrang x angelegt. y, z die beiden Axillarstränge, welche Bündel für die Ranke (κ) und für die Laubknospe (λ) abgeben Die Bezeichnung am Grunde stimmt mit derjenigen in Fig. 5 und 10 überein.

Taf. VI, 14. Serjania mexicana *Willd.*

Schematische Darstellung des Strangverlaufes auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten ausgeführt. 0,1 . . . . . 5 die aufeinander folgenden Stengelknoten. a b c, d e f, g h i, k l m, n o p, q r s die successiven dreisträngigen Blattspuren. t u v Spur des 6. Knotens; x z 2 Stränge der 7. Spur; α und β Medianstränge der 8. und 9. Spur; δ Schenkel des kathodischen Lateralstranges; λ, μ, ν, ξ, ρ Axillarstränge. Die Bezeichnung am Grunde der Figur stimmt mit derjenigen des Querschnittes in Fig. 9, auf Taf. XV überein.

Taf. VI, 15—17. Serjania spec.

15 (200). Querschnitt durch einen der an der Grenze zwischen Mark und Markscheide befindlichen (Phloem-) Stränge; derselbe besteht bloss aus engen Zellen.

16 (200). Querschnitt durch einen solchen Strang, der aus einer weiten, mit dunklem Inhalte gefüllten Zelle (Siebröhre) und aus engen Zellen zusammengesetzt ist. e äussere, dem Holzring zugekehrte Seite.

17 (12). Querschnitt durch einen Stengel (vgl. Pag. 67).

Taf. VII, 1—8. Paullinia alata *G. Don.*

1 (20). Querschnitt durch das Internodium einer Zweigspitze, dicht unter dem Knoten. l, m, n die 3 Foliarstränge der eigenen Spur; o, p die Axillarstränge derselben.

q. r. s die Blattstränge der erstobern Spur; t, u die Axillarstränge derselben. v, x, y der Medianstrang und die Axillarstränge der 2. obern Spur. w, z, a Stränge höherer Spuren.

2 (20). Das gleiche Internodium wie Fig. 1, unmittelbar am Grunde und über dem Knoten, mit der nämlichen Bezeichnung. u und r sind miteinander verschmolzen, ebenso y und a, ferner die Stränge o, p, w; dagegen hat sich z in zwei getheilt.

3 (20). Querschnitt unter Fig. 2. α, β die beiden Stränge der noch ganz kleinen Laubknospe. γ, δ, ε, ζ die 4 stärkern Stränge der Ranke. In den Strängen des Stengels ist keine Veränderung eingetreten, ausgenommen, dass neben z noch ein schwacher Strang liegt, der vielleicht eine weitere Abzweigung von z, vielleicht auch für die Axillarknospe bestimmt ist.

4 (20). Querschnitt unter Fig. 3. Ranke und Knospe haben sich mit dem Stengel vereinigt. γ, δ, ε, ζ mit den dazwischenliegenden Bündeln gehören der Ranke an. ζ hat sich getheilt, um den Medianstrang des Blattes zwischen den beiden Schenkeln eintreten zu lassen. α, β Stränge für die Knospe, von denen nur zwei in den Schnitt 3 hinaufreichen. Die übrigen Stränge sind die nämlichen geblieben. η Querschnitt durch den Blattstiel.

5 (20). Querschnitt unter Fig. 4. Die Stränge des Blattstieles (3, η) haben sich in 3 vereinigt (f, g, h), welche in den Stengel eingetreten sind und von denen g sogleich mit s verschmolzen ist. Die Stränge α bis zum einen Schenkel ζ von Fig 4 haben sich in die 3 Bündel k von Fig. 5, — β bis zum andern Schenkel ζ von Fig. 4 in die 4 Bündel i von Fig 5 vereinigt. Die übrigen Stränge verhalten sich wie in Fig 5.

6 (20). Querschnitt mitten im Internodium unter Fig. 5. Die getrennten Stränge i und k sind verschmolzen. x und y haben sich mit v vereinigt, ebenso z mit u. Dagegen hat sich ω in zwei Schenkel gespalten.

7 (20). Nächst unteres Internodium. a, b, c die neu eingetretenen Blattspurstränge; d, e die dazugehörigen Axillarstränge c hat sich mit g vereinigt. b mit u, ferner t und u mit q; die beiden Schenkel von ω sind wieder verschmolzen. y Bastring; z Markscheide.

8 (14). Querschnitt durch ein Internodium eines andern dickern Zweiges. a, b, c die eigenen Blattspurstränge; d, e die dazugehörigen Medianstränge; f, g, h die Stränge der 1. obern Blattspur; k, i deren Axillarstränge; l Medianstrang der 2. obern Spur; m kathodischer Foliarstrang derselben; o, p dazugehörige Axillarstränge. — v Protenrinde; x Epenrinde; y Bastring; z Markscheide.

Taf. VII, 9. Serjania mexicana *Willd.*

9 (12). Querschnitt durch einen Zweig; a, b, c die eigene Blattspur; λ, λ die Axillarstränge. Die Bezeichnung ist die nämliche wie am Grunde von Fig. 14 auf Taf. VI. y Bastring; z Markscheide.

Taf. VIII, IX, X. Serjania caracassana *Willd.*

Taf. VIII.

Schematische Darstellung des Strangverlaufes auf der ebengelegten Cylinderfläche, von innen gesehen, nach successiven Querschnitten, von denen eine Auswahl auf Taf. IX abgebildet ist, ausgeführt. 0.1 ...... 7 die aufeinander folgenden Internodien. abc, def, ghi, klm, nop, qrs, tuv, xyz, αβγ die 3strängigen Spuren der successiven Blätter. δ,δ,,, ε,ε,,, ζ,ζ,,, η,η,,, ϑ,ϑ,,, ι,ι,,, κ,κ,,, λ,λ,, Axillarstränge, gebildet durch die aus dem Laubzweig und der Ranke in den Stengel eintretenden, je in zwei Massen sich vereinigenden Stränge. Die Bezeichnung am Grunde der Figur ist die nämliche, wie in Fig. 11 auf Taf. IX. Die ausgezogenen Stränge liegen in dem allgemeinen Holzring, die punktirten an der äussern und die gestrichelten an der innern Seite der besondern Holzringe, welche auf der Zeichnung durch die schmalen Ellipsen angedeutet sind. Einige der in den allgemeinen Holzring eingetretenen Stränge wurden übrigens nicht bis zum Grunde fortgeführt, theils um die Zeichnung nicht zu verwirren, theils weil ihre Spur verloren ging.

Taf. IX.

Querschnitte durch den Zweig, dessen Strangverlauf auf Taf. VIII dargestellt ist. In dieser Figur sind die Stellen in den Internodien angedeutet, die den Querschnitten 1, 2, 5, 6 und 11 entsprechen; die übrigen Schnitte gehen durch die Knoten. Die Bezeichnung ist die nämliche wie auf Taf. VIII.

1 (10). Querschnitt durch das Internodium unter dem Knoten, der auf Taf. VIII mit 3 bezeichnet ist.

2 (10). Querschnitt durch das Internodium über dem Knoten 1 auf Taf. VIII.

3 (10). Querschnitt durch den Knoten 1 auf Taf. VIII unmittelbar über dem Eintritt der Foliarstränge. Die beiden besondern Ringe der Fig. 2 mit den Strängen h—n und o—m haben sich mit dem allgemeinen Ring vereinigt.

4 (10). Querschnitt durch den nämlichen Knoten wenig tiefer; die Foliarstränge d, e, f sind im Begriff zwischen die andern Stränge einzutreten. Der allgemeine Ring hat sich an mehreren Stellen geöffnet, theils um diesen Eintritt, theils um die Wiederbildung der besondern Ringe zu gestatten.

5 (10). Querschnitt dicht unter demselben Knoten (1 auf Taf. VIII).

6 (10). Querschnitt über dem Knoten 0 auf Taf. VIII.

7 (10). Querschnitt durch den obersten Theil des Knotens 0 auf Taf. VIII. Der besondere Ring der Fig. 6 mit den Strängen l—i hat sich mit dem allgemeinen Ring vereinigt.

8 (10). Querschnitt durch den nämlichen Knoten unmittelbar unter Fig. 7. Auch die beiden andern besondern Ringe mit den Strängen k und e haben sich in den allgemeinen Ring geöffnet.

9 (10). Querschnitt durch den nämlichen Knoten unmittelbar unter Fig. 8. Die Foliarstränge a, b, c sind im Begriff zwischen die andern Stränge einzutreten; der allgemeine Ring hat sich an drei Stellen geöffnet, um sie aufzunehmen.

10 (10). Querschnitt durch den nämlichen Knoten dicht unter Fig. 9. Die Foliarstränge a, b, c sind zwischen die andern Stränge eingetreten. Der besondere Ring mit dem Strang b hat sich getrennt; derjenige mit dem Strang c ist im Begriff es zu thun.

11 (30). Querschnitt durch das Internodium unter dem Knoten 0 auf Taf. VIII. μ Protenrinde; μ, Collenchym; ν Protenmark; ρ Bastring; σ Epenrinde ausserhalb des besondern Holzringes, χ dieselbe zwischen dem besondern und dem allgemeinen, χσ dieselbe ausserhalb des allgemeinen Holzringes; ξ und π Cambium des besondern Ringes auf der äussern und innern Seite; φ und φ, Cambium des allgemeinen Ringes; ω Markscheide des allgemeinen Ringes.

Taf. X.

1 (120). Querschnitt durch ein 0,33 M.M. dickes Internodium der Zweigspitze, in dem Meristem sind Cambiumstränge sichtbar geworden. a, b, c die Stränge für das eigene Blatt; d, e, f diejenigen für das erstobere, g der Medianstrang für das zweitobere Blatt.

2 (300). Ein Theil des nämlichen Querschnittes stärker vergrössert; c der Cambiumstrang, der in Fig. 1 mit dem nämlichen Buchstaben bezeichnet ist.

3 (50). Querschnitt durch ein 0,7 M.M. dickes Internodium des gleichen Zweiges; d, e, f die Stränge für das erstobere Blatt.

4 (50). Einige Schnitte tiefer als Fig. 3; D.M. = 1 M.M.

5 (50). Noch einige Schnitte tiefer. ξ und π besonderer, φ allgemeiner Cambiumring.

6 (300). Ein Theil der Fig. 3, entsprechend der Kante f stärker vergrössert. f Gefässe und Mark des künftigen besondern Holzringes; μ Protenrinde; ν Protenmark; ξ äussere Cambiumlamelle; π innere Cambiumlamelle; ρ junger Bast.

7 (300). Ein Theil der Fig. 4, entsprechend der Kante f, stärker vergrössert. f Gefässstrang; μ Protenrinde; ν Protenmark; ξ äussere Cambiumlamelle; π—φ innere Cambiumlamelle, welche durch Zwischenlagerung des Dauergewebes χ in zwei zerfällt. ρ junger Bast; σ Epenrinde; τ Mark des künftigen besondern Holzringes.

8 (300). Querschnitt durch die nämliche Kante der Zweigspitze, etwas tiefer. μ Protenrinde; ν Protenmark; ρ junger Bast; σ Epenrinde; ξ und π Cambium des besondern Ringes auf der äussern und innern Seite; f und g Gefässstränge des besondern Ringes auf der äussern und innern Seite; τ Mark des besondern Ringes; φ Cambiumlamelle, welche sich in den allgemeinen Cambiumring fortsetzt; χ Epenrinde zwischen dem allgemeinen und besondern Ring.

Entstehung und Wachsthum der Wurzeln

von C. Nägeli und H. Leitgeb.

Die Thatsache, dass das Spitzenwachsthum der Wurzeln der Gefässkryptogamen durch wiederholte Theilungen einer Scheitelzelle erfolgt, wurde zuerst durch Hofmeister bekannt. Seiner ersten Ansicht*) nach theilt sich diese an der Spitze des Wurzelkörpers gelegene und von der Wurzelhaube bedeckte Scheitelzelle durch abwechselnd nach oben und unten convexe Wände in eine neue linsenförmige Zelle ersten Grades und in eine Zelle zweiten Grades, die die Gestalt eines Meniskus besitzt und abwechselnd gegen die Wurzelhaube und den Wurzelkörper convex ist. Aus jeder der gegen die Wurzelhaube convexen Zellen bilden sich durch weitere Theilungen Zellen für die Wurzelhaube, während das Wachsthum des Wurzelkörpers durch jene Zellen vermittelt wird, die diesem ihre convexe Seite zukehren.

Von diesem anfangs für die Wurzeln aller Gefässkryptogamen angenommenen Wachsthumsvorgange schliesst Hofmeister später**) die Wurzeln der Farne und Isoëten aus. Für erstere unterscheidet er zwei Wachsthumstypen: Die Farne mit dreizeiliger Wedelstellung zeigen im Stamme und in den Wurzeln eine tetraëdrische Scheitelzelle, deren eine Fläche der Wurzelhaube zugekehrt ist, während die drei andern als Seitenwände gegen den Wurzelkörper convergiren. Durch die in spiraliger Folge den Seitenwänden parallel auftretenden Theilungswände werden Zellen für den Wurzelkörper und nach jedem Umgange dieser Theilung durch eine der Aussenfläche parallele Wand eine Zelle für die Wurzelhaube abgeschnitten. — Die Farne mit zweizeiliger Wedelstellung haben im Stamme und in den Wurzeln zweischneidige Scheitelzellen. Durch wechselnd nach rechts und links geneigte, den Seitenflächen der Scheitelzelle parallele

---

*) Vergleichende Untersuchungen, pag. 96.

**) Beiträge zur Kenntniss der Gefässkryptogamen. Heft I. und II.

Wände werden Zellen für den Wurzelkörper, durch der Aussenfläche parallele hingegen Zellen für die Wurzelhaube abgeschnitten. Hofmeister's Ansicht über das Wurzelwachsthum bei Isoëtes soll später erörtert werden.

Nach unsern Untersuchungen theilt sich die Scheitelzelle der Wurzeln aller Gefässkryptogamen immer durch schiefe Wände, die von Zeit zu Zeit mit Querwänden abwechseln. Die durch jene gebildeten Zellen, die nach dem Vorgange Pringsheim's*) „Segmentzellen" oder „Segmente" genannt werden sollen, vermitteln das Wachsthum des Wurzelkörpers, während durch die Querwände Zellen für die Wurzelhaube abgeschnitten werden. Da sich aus jeder der letzteren eine oder zwei der kappenförmigen Zellschichten der Wurzelhaube entwickeln, so sollen sie als „primäre Kappenzellen" (Kappenmutterzellen Hanstein's und der aus jeder derselben hervorgehende Zellencomplex als „Kappe") bezeichnet werden.

In Bezug auf die gegenseitige Neigung der schiefen Wände kann man zwei, vielleicht drei, Typen unterscheiden. Wir finden sie nämlich entweder nach drei, oder nur nach zwei Seiten (nämlich abwechselnd nach rechts und links) geneigt. In den Wurzeln (und Stengeln) von Lycopodium dürfte die Neigung der Wände nach vier Seiten gerichtet sein. Dem zufolge unterscheiden wir auch mehrere Formen der Scheitelzelle. Im ersten Falle hat sie die Form einer dreiseitigen Pyramide, deren Spitze dem Wurzelkörper zugekehrt ist; im zweiten ist sie gegen denselben zweiflächig zugeschärft; im dritten kommt ihr die Gestalt einer vierseitigen Pyramide zu.

Die Wurzeln mit dreiseitiger Scheitelzelle stimmen nun unter sich nicht allein in der Bildung der Segmentzellen überein, es zeigt sich auch in Bezug auf die Entwicklung späterer Zellengenerationen eine so bestimmte Gesetzmässigkeit, dass sich wenigstens für die ersten Theilungsvorgänge gewisse gemeinsame Gesetze aufstellen lassen, die wir den speciellen Untersuchungen vorausschicken wollen.

I. Wurzeln der Gefässcryptogamen mit dreiseitiger Scheitelzelle.

Tafel XI — XVI.

Wie soeben erwähnt wurde, hat die Scheitelzelle die Gestalt einer dreiseitigen Pyramide, deren mehr oder minder convexe Grundfläche die Scheitelfläche darstellt, während die durch das Zusammenstossen der drei Seitenflächen gebildete Spitze in den Wurzelkörper eingesenkt ist.

Die Bildung der Wurzelhaube geschieht in der Weise, dass sich in der Scheitelzelle zunächst ihrer Scheitelfläche eine zur Wurzelachse rechtwinklige Querwand bildet, wodurch jene in zwei Zellen zerfällt, deren eine die ursprüngliche Pyramidenform beibehält, indess die andere nahezu die Form eines Kugelabschnittes besitzt und als primäre Kappenzelle die Mutterzelle einer oder zweier kappenförmiger Zellschichten oder einer Kappe der Wurzelhaube darstellt. Gleich nach ihrer Bildung wächst sie ziemlich rasch in die Breite, wodurch ihre auf Querschnitten ursprünglich sphärisch dreieckige Form bald in die eines Kreises übergeht. Zu gleicher Zeit theilt sie sich durch eine auf ihrer Grundfläche senkrechte, also der Wurzelachse parallele Wand in zwei gleiche Hälften, in deren jeder nun abermals eine auf der früheren Theilungswand senkrechte Längswand auftritt, wodurch vier im Grundriss quadrantische Zellen gebildet werden*) (Taf. XII, Fig. 1, der rundliche Raum im Innern mit den Wänden 1, 2, 3 stellt die jüngste Kappe dar, indess die übrigen Zellen ältern Kappen angehören; ferner Taf. XII Fig. 3, 5; Taf. XIV, Fig. 3; Taf. XVI, Fig. 8 und 9. Die erste Wand ist in diesen Figuren mit 1, die darauffolgenden mit 2 bezeichnet). Dass die Bildung dieser Scheidewände sehr rasch auf einander folgt, muss aus dem Umstande geschlossen werden, dass man höchst selten Querschnitte erhält, welche nur die Halbirung der primären Kappenzelle zeigen.

---

*) Zur Morphologie v. Salvinia natans. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. III Heft III pag. 491. Cramer (Pflanzenphysiol. Untersuchungen v. Nägeli u. Cramer. Heft III pag. 22) nannte sie „Gliederzellen." Hanstein (Befruchtung und Entwicklung der Gattung Marsilia, in Pringsheim's Jahrbüchern Bd. IV pag. 197) gebraucht den Ausdruck „Abschnittszellen."

Sind auf diese Weise vier in einer Ebene liegende Zellen gebildet, so theilt sich nun jede derselben abermals in zwei nebeneinanderliegende Hälften, indem die sich bildenden Längsscheidewände die Aussenwände halbiren, oder in ungleiche Stücke theilen, und gerade oder in sanfter Krümmung nach innen verlaufen, um sich an die Seitenwände anzusetzen (Vergl. die mit 3 bezeichneten Wände in Taf. XII, Fig. 1, 3, 4, 5, 6; Taf. XIV, Fig. 3; Taf. XVI, Fig. 8 und 9). In Bezug auf die Richtung dieser Wände beobachten wir selbst in den Wurzeln derselben Pflanzenart nicht unbedeutende Verschiedenheiten, indem entweder die Richtung in allen vier Zellen dieselbe bleibt (Homodromie), in welchem Falle jede der vier ins Kreuz gestellten Wände von einer Theilungswand getroffen wird (vgl. die Wände 3 in Taf XII Fig. 1); oder indem dieselbe in einer oder in zwei Zellen wechselt (Heterodromie), wodurch dann ein oder zwei Seitenwände frei bleiben (vgl. die Wände 3 in Taf. XII Fig. 3, 4, 5, 6; Taf. XVI, Fig. 8, 9).

Auf diese Weise sind nun aus der primären Kappenzelle acht in einer je nach der Form des Vegetationskegels mehr oder minder gekrümmten Fläche liegende Zellen entstanden. In vielen Fällen geschehen auch die weiteren Theilungen dieser Zellen nur durch Längswände, in welchem Falle also alle Zellen einer „Kappe" eine einfache Schicht bilden (so in Tafel XIV, Fig. 7, wo die 4 Zellschichten k-k, l-l, m-m, n-n, aus eben so vielen primären Kappenzellen entstanden sind). In anderen Fällen jedoch, wie zum Beispiel bei Equisetum hiemale treten, bevor durch weitere Zellentheilungen vermittelst radialer und tangentialer Längswände eine Vermehrung dieser acht Zellen erfolgt, Querwände in ihnen auf, wodurch jede in zwei gleiche übereinander liegende Hälften zerfällt (Taf. XII, Fig. 9, 10; l, l und m, m sind die beiden Schichten, die je aus einer primären Kappenzelle entstanden). Es ist dieser Vorgang der Quertheilung wohl zu beachten, weil er uns lehrt, dass in solchen Fällen zwei übereinander liegende Schichten der Wurzelhaube zusammen einer Kappe angehören, die dann also zweischichtig ist. In diesem Falle gibt die Zahl der auf einem Längsschnitte zu beobachtenden kappenförmigen Schichten nicht zugleich auch die Zahl der in der Scheitelzelle erfolgten Quertheilungen, sondern es ist diese um die Hälfte kleiner.

---

*) Diese Theilungsvorgänge erkannte schon Hofmeister. (Vergl. Unt. pag. 94.)

Nach dem Auftreten der eben beschriebenen Quertheilung, oder wo diese nicht vorkommt, unmittelbar nach der Bildung der acht Zellen geschieht die weitere Zellvermehrung in der Regel nur mehr durch Längswände. Fast ohne Ausnahme wird zuerst jede der vier tieferen im Centrum der Schicht zusammenstossenden Zellen in eine äussere und eine innere Zelle getheilt. Wir erhalten auf diese Weise 4 innere und 8 äussere Zellen. Erstere theilen sich häufig nicht weiter durch Längswände, und wir erkennen sie in ihrer quadrantischen Stellung auch noch auf Querschnitten, die weit von dem Vegetationspunkte entfernt sind (Taf. XII Fig. 2, m, m).

Nach der Bildung dieser 4 centralen Zellen, seltener vor ihrer Entstehung, treten in den 8 peripherischen Zellen nach innen verlaufende Längswände auf, die sich entweder schief oder unter rechten Winkeln an die Seitenwände ansetzen und die äusseren Kanten als Zellen abschneiden.

In Bezug auf das weitere Auftreten der tangentialen und radialen Längswände lässt sich kein bestimmtes Gesetz mehr erkennen und wir begegnen in der Wurzel derselben Pflanzenart mannigfachen Verschiedenheiten. Hie und da bilden sich auch, besonders zunächst der Längsachse, noch Quertheilungen, welche dann zugleich mit einer vorwiegenden Längsstreckung der Zellen die mehr oder minder zugespitzte Form der Wurzelhaube bedingen. Die Kappe ist in solchen Fällen in der Mitte mehrschichtig.

Die den oberflächlichen Schichten der Wurzelhaube angehörigen Zellen verdicken ihre Aussenwände, die dann in Wasser und noch mehr in Kali sehr stark aufquellen. Nach und nach trennen sich diese Zellen aus ihrem Verbande und werden entweder in Gruppen oder einzeln abgestossen.

Was die Lage der ersten in der primären Kappenzelle auftretenden Theilungswand gegen die drei Seitenflächen der Scheitelzelle betrifft, so scheint kein bestimmtes Gesetz zu bestehen, in dem sie weder zu einer derselben parallel ist, noch auf ihr senkrecht steht. Konstant jedoch ist die gegenseitige Lage dieser ersten Theilungswände in zwei aufeinanderfolgenden Kappen, indem dieselben nie übereinanderfallen, sondern um 45 Grade von einander abweichen, demzufolge also auch die 4 quadrantischen Zellen zweier successiver Kappen immer genau alterniren.

Das Längenwachsthum des Wurzelkörpers, insoweit es durch Theilung der Scheitelzelle vermittelt wird, geht in der Weise vor sich, dass die in spiraliger Folge auftretenden Scheidewände der Reihe nach den Seitenflächen parallel sind. Diese Spirale zeigt weitaus am häufigsten Rechtsdrehung und nur in wenigen Fällen Linksdrehung. Letztere finden wir ausnahmslos in den Wurzeln von Equisetum hiemale, während wir sie in den Wurzeln der Farne nur als Ausnahme bei solchen Arten finden, die sonst rechtsläufige Spiralen zeigen.

Jede der durch diese Theilungen der Scheitelzelle gebildeten „Segmentzellen", die natürlich ihrer Entstehung nach ebenfalls spiralig geordnet sind, ist durch fünf Flächen begrenzt: nämlich durch eine Seitenwand der Scheitelzelle (Taf. XI, Fig. 1, bce) und durch die zu dieser parallelen Wand (afd), die beide nach Cramer Hauptwände genannt werden sollen; ferner durch zwei nach innen convergirende Seitenwände (abef und cdef); und endlich durch eine mehr oder minder convexe Aussenwand (abcd). Von den beiden Hauptwänden jeder Segmentzelle mag die näher der Vegetationsspitze gelegene als die scheitelsichtige, die andere als die grundsichtige Hauptwand bezeichnet werden.*) Von den beiden Seitenwänden der Segmentzelle nennen wir die in der Theilungsspirale höhergelegene die anodische, die tiefergelegene hingegen die kathodische Seitenwand (analog der Bezeichnung der beiden Blattränder, vgl. diese Beiträge Heft I pag. 48).

Die beiden Seitenwände sind jedoch nichts anderes als selbst wieder Theile der Hauptwände und zwar jener beiden, die in ihrer Bildung unmittelbar der Entstehung der vorderen Hauptwand der betreffenden Segmentzelle vorangegangen waren. Bezeichnen wir vier in der Scheitelzelle aufeinanderfolgende Theilungswände mit den Ziffern 1 bis 4, wobei dann die Wand 1 die grundsichtige und die Wand 4 die scheitelsichtige Hauptwand einer Segmentzelle ist, so werden die Seitenwände derselben durch jene Theile der Wände 2 und 3 gebildet, welche durch die scheitelsichtige Hauptwand der Segmentzelle abgeschnitten wurden. Dabei entspricht die anodische Seitenwand der älteren (mit 2 bezeichneten) und die kathodische der jüngeren (mit 3 bezeichneten) der beiden Theilungswände, die zur Bildung der Seitenwände der Segmentzelle verwendet wurden (Vergl. Taf. XI, Fig. 2, wo I, II, III die drei letzten Segmente in akropetaler Folge bezeichnen.

Bevor wir die Zellenvermehrung in den Segmentzellen verfolgen, wollen wir zuerst die durch das Wachsthum hervorgebrachten Veränderungen ihrer Gestalt und ihrer Lage kurz berühren.

---

*) Bei vielen anatomischen, morphologischen und physiologischen Verhältnissen macht sich der Gegensatz von Scheitel und Basis eines Organs geltend. Für Stengel und Blätter braucht man zur Bezeichnung dieses Gegensatzes die Ausdrücke oben und unten. Beim Blatt ist diese Benennung schon einigermassen zweideutig, weil sie auch bei manchen Autoren den Gegensatz von vorderer und hinterer Fläche bedeutet. Noch zweideutiger ist sie beim kriechenden Stengel, wo unten und oben auch den Gegensatz der beiden Seiten bezeichnet, von denen die eine der Luft und dem Lichte, die andere der Erde zugekehrt ist. Bei der Wurzel vollends herrscht mit Beziehung auf die Ausdrücke unten und oben ein vollkommener Widerspruch, indem die Einen sich die Wurzel in ihrer natürlichen Lage (den Scheitel nach unten gerichtet) denken, die Anderen aber, um sie mit dem Stengel vergleichen zu können, aufrecht (den Scheitel nach oben) stellen.

Wir gebrauchen, um alle Zweideutigkeit zu vermeiden, die Ausdrücke unten und oben nur in der gewöhnlichen Bedeutung, während der Gegensatz von Scheitel und Basis durch folgende Bezeichnungen ausgedrückt wird:

scheitelwärts und grundwärts (als Adverb.), scheitelsichtig und grundsichtig oder akroskop und basiskop (als Adject.), dem Scheitel oder der Basis zugekehrt;

akropetal (sit venia verbo) und basipetal, nach dem Scheitel oder nach der Basis hin sich bewegend.

In Folge der alternirend schiefen Theilungen der Scheitelzelle sind die Segmente anfänglich unter einem Winkel von 40—70 Graden gegen die Achse der Wurzel*) geneigt. Auf Längsschnitten beobachtet man, wie diese schiefe Lage bald in eine horizontale übergeht, so dass die Segmente nun rechtwinklig auf der Achse stehen. Anfänglich sind die Hauptwände parallel, später divergiren sie nach aussen, zuletzt laufen sie wieder parallel. Ferner greifen die Segmente anfänglich zickzackförmig in einander, zuletzt stossen sie mit geraden Seiten aneinander, indem der Winkel, den die Membranstücke bc und cb^1 (Taf XI. Fig. 4 und 5) mit einander bilden, immer grösser ($b^1c^1b^2$, $b^2c^2b^3$) und schliesslich zur geraden Linie wird. In gleicher Weise sieht man an der von aussen betrachteten verticalschief oder horizontal stehenden Wurzelspitze zuerst das zickzackförmige Ineinandergreifen, zuletzt das ebene Aneinanderstossen der Segmente, indem die Linien ln, nl^1, l^1n^1, n^1l^2 etc. in Taf. XI, Fig 3 zur Geraden werden.

Ein ganz analoger Process findet an der äusseren Fläche der Segmente von Wurzeln statt. Dieselben greifen zuerst zickzackförmig in die Wurzelkappen. Die Stücke ae, ea^1, a^1e^1, e^1a^2, a^2e^2 etc. in Taf. XI Fig. 4 verändern nach und nach ihre Lage; zuletzt sind sie der Oberfläche des Wurzelkörpers parallel. Diese hat zunächst der Scheitelzelle treppenförmige Absätze; in einiger Entfernung davon ist sie glatt geworden. Es gibt Wurzeln, bei denen diese Erscheinung sehr auffällig ist, andere dagegen, wo sie leicht übersehen wird. Sie tritt natürlich um so deutlicher hervor, je grösser das Stück der schiefen Hauptwände ist, das von der die Wurzelkappe bildenden Querwand abgeschnitten wird (ae in Fig. 4). Wenn diese Querwand sich in den obern Ecken resp. Kanten der Scheitelzelle ansetzt, so kann eine zickzackförmig oder treppenförmig eingeschnittene Oberfläche überhaupt nicht entstehen.

Die ursprünglich dreieckig-tafelförmigen Segmente behalten also im Wesentlichen ihre Gestalt. Aber nur die basiskope Hauptwand bleibt unverändert; von der akroskopen Hauptwand behält bloss der grössere mittlere Theil seine Lage, eine Randzone wird ringsum zurückgestülpt, und bildet schliesslich den akroskopen Theil der Seitenwand.

Die erste in jeder Segmentzelle auftretende Wand steht senkrecht auf den Hauptwänden, ist also auf die ganze Wurzel bezogen eine radiale Längswand. Es entstehen dadurch zwei *neben* einander liegende Zellen, die jedoch in Bezug auf Form und Grösse ungleich sind, indem die Theilungswand, welche die Aussenwand der Segmentzelle meist in nahezu gleiche Stücke theilt, nach innen nicht bis an den Grund derselben, sondern in sanfter Krümmung gegen eine der Seitenwände verläuft und sich an deren innerem Theile ansetzt (Taf. XI, Fig. 1, die Wand ghqp theilt die Segmentzelle ade und setzt sich in pq an die Seitenwand abef an). Auch der Verlauf dieser Wände lässt sich in den meisten Fällen auf die Schraubenlinie zurückführen, die sich aus der Folge der in der Scheitelzelle auftretenden Theilungen ergibt. Diese Scheidewände treffen nämlich meistens die anodischen Seitenflächen jeder Segmentzelle, und sind dann also unter sich homodrom. Doch kommen auch Fälle vor, wo der Ansatz an der kathodischen Seitenfläche geschieht, und zwar entweder gleichmässig in allen drei Segmentzellen, die auf einem Querschnitte zur Ansicht kommen, oder was indess noch seltener ist, nur in einer oder zwei derselben. Homodrome Wände sieht man in Taf. XIII, Fig 7, 8 und 9, wo sie mit s bezeichnet sind, ferner in Taf. XIV, Fig. 5 und 6, in Taf. XV, Fig. 5 und 6, in Taf. XVI, Fig. 5. Heterodromie dagegen kommt in Taf. XII, Fig. 8 vor.

---

*) Es gilt die ganze folgende Betrachtung ebenso auch für die Stengel mit dreiseitiger Scheitelzelle.

Jede Segmentzelle zerfällt also durch diese erste Theilungswand in zwei nebeneinander liegende Zellen, die wir, da jede ungefähr ein Sechstel des Querschnittes einnimmt, Sextanten nennen wollen; wie auch die Wand, welche ihre Entstehung veranlasste, als Sextantenwand (s) bezeichnet werden soll. Die beiden Sextanten eines Segmentes sind, wie es ja der Verlauf der Sextantenwand bedingt, in Form und Grösse von einander verschieden. Der kleinere, den Grund der Segmentzelle nicht erreichende ist nach innen keilförmig zugespitzt; der grössere bis an den Grund reichende ist daselbst auch durch den innersten Theil der dem kleineren Sextanten angehörigen Seitenfläche begrenzt. Bei Pilularia und Marsilia wie auch bei einigen Farnen sind die beiden Sextanten eines Segmentes nur wenig an Grösse verschieden, da hier die Sextantenwand nahe dem Mittelpunkte sich ansetzt; bei Equisetum (hiemale) hingegen, wo die Ansatzstelle derselben vom Centrum entfernter liegt, ist auch der Grössenunterschied der beiden Sextanten bedeutender.

In jedem der so enstandenen Sextanten bildet sich nun eine tangentiale (der Aussenwand des Segmentes parallele) Wand, welche denselben, indem sie die Sextantenwand meist in ihrem inneren Drittel trifft, in eine kleinere Innen- und eine grössere Aussenzelle theilt. In Taf. XI, Fig. 1 theilt sich die Sextantenzelle ahp durch die Wand kilm und die Sextantenzelle hped durch die Wand mlno (vrgl. ferner Taf. XII, Fig. 9, c; Taf. XIII, Fig. 2, c, c; Taf. XIV, Fig. 7, c, c; Taf. XV, Fig. 1 und 3, c, c). Bei einigen Farnen sind jedoch diese beiden Zellen an Tiefe gleich; diess ist um so mehr der Fall, je grösser sie sind. An dickeren Wurzeln beobachtet man auch den Fall, dass sich die erwähnte Scheidewand in der äusseren Hälfte der Sextantenwand ansetzt, und dass dadurch die Innenzelle tiefer wird als die Aussenzelle.

Um die Zeit der Ausbildung dieser Wand oder bald nach ihrer Entstehung sind die Hauptwände der Segmente schon nahezu rechtwinklig zur Längsachse der Wurzel gestellt. Wenn man daher durch einen in diesem Entwicklungsstadium befindlichen Wurzeltheil einen Querschnitt führt, so werden die Segmente nahezu parallel ihren Hauptwänden getroffen. Der Querschnitt erscheint uns aus drei Segmenten zusammengesetzt, deren jedes ungefähr ein Drittel der Kreisfläche einnimmt, und den Verlauf und Ansatz der Sextantenwand, wie auch der eben beschriebenen Theilungswand zeigt (Taf. XI, Fig. 7, wo h die drei Hauptwände, s die drei Sextantenwände, und c die in den Sextanten auftretenden, tangentialen Längswände sind).

Von dem Mittelpunkte des Kreises aus verlaufen nämlich in radialer Richtung drei Linien (h), die den Seitenwänden der Segmente, also Theilen der Hauptwände entsprechen, und den Kreis in drei nahezu gleiche Kreisausschnitte theilen, deren jeder einem Segmente entspricht. Jeder Kreisausschnitt ist durch eine ebenfalls radial verlaufende Linie (s) in zwei Hälften zerlegt. Diese Sextantenwand halbirt den Bogen des Kreisausschnittes und setzt sich an einer der drei im Centrum zusammenstossenden Linien (h) an. Jeder der so gebildeten Sextanten ist durch eine tangentiale Wand (c) in eine Aussen- und eine Innenzelle getheilt. Da diese Wände in den benachbarten Zellen aneinanderstossen, so umschliessen sie ein ziemlich regelmässiges Sechseck, das jedoch in manchen Fällen durch Convexwerden der Seiten mehr oder weniger in die Form eines Kreises übergeht (vrgl. Taf. XI, Fig. 7; Taf. XII, Fig. 8; Taf. XIV, Fig. 5 und 6; Taf. XV, Fig. 5).

Die Bildung dieser tangentialen Wände und die dadurch entstehende Anordnung der Zellen ist für die Differenzirung der Gewebe insoferne von besonderer Bedeutung, als durch sie die Trennung in Rinde (sammt Epidermis) und centralen Cambiumcylinder durchgeführt wird. Jene nämlich bildet sich aus den 6 peripherischen, dieser aus den 6 Innenzellen. Die Unterscheidung beider in ihrer Anlage lässt sich demnach bis zur Scheitelzelle verfolgen.

Die eben genannte, jeden Sextanten in eine Cambium- und eine Rindenzelle zerlegende Wand soll in der Folge als Cambiumwand (C) bezeichnet werden.

Bis zu diesem Stadium der Ausbildung zeigen alle Wurzeln der Gefässcryptogamen, insoferne sie wegen ihrer dreiseitigen Scheitelzelle hieher gehören, genau dieselbe Aufeinanderfolge der Theilungen, mögen sie nun als Wurzeln erster Ordnung unmittelbar aus dem Stengel entspringen, oder deren letzten Verzweigungen angehören. Nicht so verhält es sich jedoch mit der weiteren Theilungsfolge, die nach dem Grade der Entwicklung der einzelnen Gewebepartieen nothwendigerweise mannigfache Modificationen erleidet. Die Wurzeln erster Ordnung übertreffen in den meisten Fällen die der letzten Ordnung an Dicke um ein vielfaches, was ebensosehr in dem Mächtigerwerden des Cambiumcylinders als auch der Rinde seinen Grund hat. Demgemäss zeigt uns auch der Querschnitt je nach der Dicke der Wurzel schliesslich eine verschiedene Anzahl Rinden- und Cambiumzellen. Bei dünnen Wurzeln tritt in dem Cambiumcylinder nur eine äusserst geringe Zellvermehrung ein, und derselbe nimmt von seiner Anlage an kaum an Dicke zu. Der umgebende Ring der 6 peripherischen Zellen erleidet daher nur eine sehr unbedeutende passive Ausdehnung, und die erste Theilung in ihnen geschieht durch eine tangentiale Wand. Anders verhält es sich bei den dickeren Wurzeln, wo der Cambiumcylinder rasch anwächst, und wo in dem sich erweiternden Ring der 6 peripherischen Zellen zunächst radiale Wände auftreten, auf welche dann erst die tangentiale Wand folgt.

Durch diese tangentiale Wand zerfällt jede der 6—12 Zellen, welche den Cambiumcylinder umgeben, in eine innere und eine äussere Zelle (Taf. XIII, Fig. 2, e in Segment VII). In den meisten Fällen tritt in der äusseren Zelle nie mehr tangentiale Theilung ein; sie ist daher schon als Epidermis zu betrachten, und wir nennen daher diese tangentiale Wand: Epidermiswand. Bei manchen Farnen (Polypodium, Blechnum, Cystopteris) theilt sich diese Zelle jedoch noch einmal tangential (Taf. XV, Fig. 3 und 7, durch die Wand f, f), in welchem Falle die äussere der so entstehenden Zellen zur Epidermis wird. Uebrigens kann man auch die innere Zelle als zur Epidermis gehörig auffassen, wofür ausser der Entstehung noch der Umstand spricht, dass eine weitere tangentiale Wand in ihr ebenfalls gewöhnlich nicht auftritt, und dass sie in Bezug auf die Anzahl der in ihr sich bildenden, radialen Wände mehr mit der Epidermis, als mit den innen gelegenen Rindenzellen übereinstimmt (Taf. XV, Fig. 3 und 7, q.).

Die innere Zelle, d. h. diejenige, welche sich zwischen dem Cambiumcylinder und der Epidermis befindet, ist als primäre Rindenzelle zu bezeichnen, denn aus ihr geht das gesammte Rindenparenchym hervor. Die nächste Wand, durch die sie sich theilt, ist eine tangentiale Längswand, also der Cambium- und Epidermiswand parallel, und soll in der Folge als Rindenwand bezeichnet werden. Sie trennt die äussere und innere Rinde, eine Differenz, die aber nur in dickeren Wurzeln deutlich wird. In den dünnsten Wurzeln theilt sich die äussere an die Epidermis anstossende Zelle höchstens noch einmal tangential, die innere ebenfalls einmal, oder in centripetaler Folge zweimal, und damit ist dann das Dickenwachsthum des Rindentheils vollendet.

Die radialen Theilungen treten in diesen dünnen Wurzeln zuerst in der Epidermis auf und schreiten dann, dem Dickenwachsthume entsprechend, nach innen fort. Bei den dünnsten Wurzeln von Equisetum hiemale zum Beispiele erscheint nur die Epidermis und die einfache Zellschicht der äusseren Rinde, und zwar durchschnittlich jede Zelle einmal, radial getheilt, in der inneren Rinde hat keine radiale Theilung stattgefunden (Taf. XIII, Fig. 1, um den Cambiumcylinder herum liegen 6 innere Rindenzellen z; Fig. 10, y äussere, z innere Rinde).

Bei den dickeren Wurzeln wiederholen sich die tangentialen Theilungen in der äusseren Rinde meistens noch ein- oder mehrmals, und zwar vorherrschend in centrifugaler Folge. Sie besteht zuletzt bis aus 5 Zellschichten. In der inneren Rinde dagegen, deren concentrische Zellschichten bis auf die Zahl von 8 steigen können, schreitet die Theilung durch tangentiale Wände ziemlich strenge von aussen nach innen fort, so dass je die innerste Zelle einer radialen Reihe theilungsfähig bleibt. In Taf. XI, Fig. 6 ist die innere Rindenzelle (r c), im Segment XIII noch ungetheilt; im Segment X ist sie in zwei Zellen getheilt, wovon die innere im Segment VII abermals getheilt ist; im Segment IV hat sich die Theilung in der innersten Zelle des Segmentes VII noch einmal wiederholt. In Taf. XIII, Fig 5 und 10 besteht die innere Rinde (z) aus drei Zellen; die innere der beiden Scheidewände ist die zärtere und jüngere. In Taf. XVI, Fig. 10 sind die Wände ausserhalb der Zellschicht i-i die jüngsten.

Was die radialen Theilungen in den dickeren Wurzeln betrifft, so beginnen dieselben, wie bereits angegeben, schon vor oder unmittelbar nach Anlage der Epidermis. Diese Wände treffen die Cambiumwände in der Mitte und nahezu unter rechten Winkeln. Sie finden sich in allen, oder nur in einem Theil der 6 den Querschnitt ausfüllenden Sextanten. Die Zahl der radialen Reihen, die sich der Anlage nach auf 6 beschränkten, wird dadurch auf 7 bis 12 vermehrt, und die sechseckige Form des Cambiumcylinders geht in eine mehreckige über. Sowie nun aber mit den tangentialen Theilungen die Gewebe in die Dicke wachsen und die Zellenringe des Querschnittes sich auf grössere Durchmesser ausdehnen, so wiederholen sich die radialen Theilungen auch in der Rinde, wobei sie ziemlich regelmässig von aussen nach innen hin fortschreiten. In Folge dessen spalten sich die radialen Zellenreihen nach aussen dichotomisch (vgl. Fig. 10 auf Taf. XVI, wo auf 4 innerste Rindenzellen nach aussen 8 Zellen treffen). Je häufiger diese radialen Theilungen eintreten, um so mehr wird die regelmässige Anordnung, die in dünnen Wurzeln oft so überraschend dem Beobachter entgegentritt, gestört.

Die beiden Rindentheile unterscheiden sich nicht bloss dadurch von einander, dass die tangentialen Theilungen in dem äussern centrifugal, in dem innern centripetal fortschreiten, sondern es ist auch die Anordnung ihrer Zellen ungleich. Die Zellen der inneren Rinde nämlich sind, wenigstens in den jüngeren Stadien, genau in radiale Reihen geordnet, und zeigen, da die tangentialen Wände zweier benachbarter Reihen genau aufeinandertreffen, auch eine concentrische Anordnung. Die Zellen der äusseren Rinde dagegen liegen ohne Ordnung beisammen (Taf. XIII, Fig. 3 und 5, wo die innere Rinde (z) aus 3, die äussere (y) aus 2 Zellschichten besteht). Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die intercellularen Luftgänge, welche häufig das Parenchym der Länge nach durchziehen, nur in der inneren Rinde auftreten und, der Gruppirung der Zellen entsprechend, ebenfalls in radiale Reihen und concentrische Ringe geordnet erscheinen. Die letzten Lufträume nach aussen liegen zwischen den letzten Zellen der inneren und den ersten der äusseren Rinde, die letzten Räume nach innen befinden sich zwischen den zwei innersten Schichten der inneren Rinde (Taf. XIII, Fig. 3; Taf. XVI, Fig. 10, 11, 12, wo z die innere Rinde, i die innerste Schicht derselben und y die äussere Rinde bezeichnet). Bemerkenswerth ist, dass diese Intercellularräume sich nur da, oder wenigstens da viel früher bilden, wo vier Zellen aneinanderstossen; an der Stelle, wo drei Zellen sich berühren, bleiben sie noch längere Zeit aus. — Die Luftgänge werden im Alter immer grösser, und vereinigen sich bisweilen durch Zerreissen und spätere Resorption des Gewebes zu einer grossen Luftlücke, die ringförmig den Gefässcylinder umgibt, wie dies bei Equisetum der Fall ist.

Auch an ausgewachsenen Wurzeln vieler Farne zeigt uns der Querschnitt nicht selten zwei anatomisch sich ganz verschieden verhaltende Rindentheile, indem die innern Rindenpartieen aus sehr stark verdickten, im Längsschnitt langgestreckten und fast prosenchymatischen Zellen bestehen, während die Zellen der äusseren Rinde bloss ihre Wände bräunen, dabei im Längsschnitt viel kürzer sind, und mit horizontalen Wänden aneinandertreffen. In einigen Fällen unterscheiden sich die inneren Rindenzellen auch darin von den äusseren, dass sie sich nachträglich, nachdem das Dickenwachsthum aufgehört hat, wiederholt radial theilen, während die äusseren von diesem Theilungsprocesse ausgeschlossen bleiben. Es entsteht auf diese Weise eine kleinmaschige, den Gefässcylinder umschliessende Scheide (Taf. XV, Fig. 2, z), deren Zellen sich später sehr stark verdicken. Dadurch wird die Abgrenzung der beiden Rindentheile, besonders im Alter, um so auffallender, bis endlich die Zellen des äusseren Theiles zerstört werden, und nur die inneren stark verdickten Partieen als eine den Gefässcylinder umschliessende Scheide übrig bleiben. Es liess sich übrigens nicht mit Sicherheit nachweisen, ob dieser in älteren Wurzeln so deutlich hervortretende Unterschied der beiden Rindentheile genau mit der ursprünglichen, durch die Bildung der Rindenwand bewirkten Scheidung zusammenfällt.

Von diesem Verdickungsprocesse, wie auch von der radialen Theilung, bleiben jedoch die Zellen der innersten (an den Cambiumcylinder anstossenden) Rindenschicht ausgeschlossen. Anfangs sind sie dicht mit Inhalt erfüllt und deutlich unterscheidbar, im Alter jedoch werden sie ganz zusammengedrückt und dadurch undeutlich. Auch in den Wurzeln von Equisetum unterscheidet sich die innerste Schicht von den übrigen Zellen der inneren Rinde. Sie ist nämlich noch in einer Zeit vollkommen unversehrt, wo von dem übrigen Gewebe der inneren Rinde in Folge der Luftlückenbildung keine Spur mehr vorhanden ist. Wir werden später bei der Darstellung der Bildung der Seitenwurzeln noch weiter auf diese Schicht zu sprechen kommen.

Wir gehen nun zur Ausbildung des Cambiumcylinders über und werden entsprechend dem bisher eingehaltenen Gange wieder zuerst die einfachst gebauten Wurzeln berücksichtigen.

Wie schon früher erwähnt, wird der Cambiumcylinder schon durch die in der innern Hälfte jedes Sextanten sich bildende tangentiale Wand, die wir „Cambiumwand“ genannt haben, angelegt. Er besteht daher gleich Anfangs aus 6 Zellen; nämlich 3 grösseren, im Mittelpunkte des Querschnittes zusammenstossenden, und 3 kleineren und kürzeren Zellen. Erstere stellen uns die innern Zellen der 3 grösseren, letztere die der 3 kleineren Sextanten dar (vgl. Taf. XI, Fig. 7 zwischen c und c; ebenso Taf. XV, Fig. 5, t-t). In Bezug auf die weitere Zellenvermehrung, die ungefähr zur Zeit der Entstehung der Rindenwand beginnt, kann man nun zwei wesentlich verschiedene Typen unterscheiden. Bei den meisten Farnen, wie auch bei Marsilia, tritt die erste Wand in jeder Zelle ausnahmslos zunächst der Peripherie auf, und ist der Cambiumwand parallel (Taf. XVI, Fig. 5, innerhalb c). Die äussere der beiden Tochterzellen ist von tafelförmiger Gestalt, und theilt sich sehr bald durch eine radiale Wand, die sich einmal wiederholen kann, so bei Pteris hastata und Blechnum occidentale (Taf. XV, Fig. 6, wo die Zellen, welche am Umfange des übrigen Cambiums innerhalb c und je zwischen s und h liegen, in 2, 3 oder 4 Zellen getheilt sind). Ausserdem kann ein- oder zweimalige tangentiale Theilung eintreten. Dadurch entsteht ein aus einer oder zwei (seltener mehr) Zellenschichten gebildeter Mantel, welcher das übrige Cambium umhüllt und dessen Zellen sich von den innerhalb gelegenen Cambiumzellen immer durch ihre Grösse und ferner auch dadurch auszeichnen, dass sie in radialer Richtung etwas verlängert sind (Taf. XV, Fig. 2, p; Taf. XIV, Fig. 8, 9, 10, p). Sie lassen sich also, wenn sie überhaupt vorkommen, in allen Fällen schon nach diesen Merkmalen erkennen, was ferner auch dadurch erleichtert wird, dass sie immer ausserhalb der Gefässe und der im Alter ihre Wandungen verdickenden Cambiumzellen gelegen sind. Auch am Längsschnitte sind sie in vielen Fällen dadurch ausgezeichnet, dass ihre Zellen in Folge häufiger eintretender Quertheilungen eine geringere Länge zeigen, als die benachbarten Rinden- und Cambiumzellen (Taf. XV, Fig 3 u. 7 p).

Dieser ausserhalb der Gefässe liegende ein oder mehrschichtige Ring weiter Cambiumzellen ist auch bei den Phanerogamen sehr häufig vorhanden, und spielt dort bei der Anlage von Seitenwurzeln eine wichtige Rolle. Wir wollen ihn in Zukunft als Pericambium bezeichnen.

Die 6 ursprünglichen Zellen, welche auf dem Querschnitt der Wurzel innerhalb der zum Pericambium werdenden Zellen liegen, theilen sich meist durch tangentiale Wände, die mit radialen abwechseln; es können auch und zwar vorzüglich bei dickeren Wurzeln schief verlaufende Wände auftreten. Uebrigens ist in allen Fällen vorherrschend eine centrifugale Theilungsfolge bemerkbar (Taf. XV, Fig. 6; in B sind die Wände innerhalb des Pericambiums p—p nach ihrer Entstehungsfolge numerirt).

Einen anderen Theilungsvorgang beobachten wir in solchen Wurzeln, in denen kein Pericambium gebildet wird, wie diess bei Equisetum der Fall ist. Hier tritt zuerst in einer oder allen der drei den grösseren Sextanten entsprechenden Zellen, und zwar in ihrer inneren Hälfte, je eine tangentiale Wand auf, wodurch eine innere Zelle abgeschnitten wird, die sich dann nicht mehr weiter theilt (Taf. XIII, Fig. 1, wo der Cambiumcylinder in Folge dieser Theilung aus 9 Zellen besteht; in Fig. 7, 8 u. 9 sind die betreffenden Wände mit 3 bezeichnet). In den 6 Zellen hingegen, welche diese 1—3 inneren Zellen umschliessen, geschieht die weitere Theilung vorherrschend durch schiefe gegen einander geneigte Wände (Taf. XIII, Fig. 7, die Wände 4 u. 5) und schreitet von dem Centrum gegen die Peripherie des Cambiumcylinders fort, wo auch die Zellen zuletzt am kleinsten sind. Hier geht also die Zellenbildung vorherrschend in centrifugaler Richtung vor sich.

Die Gefässbildung beginnt in der grossen Mehrzahl der Fälle an zwei sich diametral gegenüber liegenden Punkten, wie diess ausnahmslos bei allen Farnen und in der Regel bei den dünnen Wurzeln überhaupt der Fall ist. Nur bei den dickeren Wurzeln von Equisetum und Pilularia finden wir 3, bei ersterer Gattung, wiewohl selten, auch 4 ursprüngliche Vasalstränge. Bei denjenigen Pflanzen, bei welchen kein Pericambium gebildet wird, stossen die ersten Gefässe unmittelbar an die innersten Rindenzellen an, während sie dort, wo Pericambium vorhanden ist, innerhalb desselben gelegen sind. Von diesen peripherischen Punkten schreitet nun die Gefässbildung meist sogleich nach innen fort, wodurch radiale, im Centrum des Gefässcylinders zusammenstossende, Reihen von

Gefässen gebildet werden. Demgemäss zeigen uns auch Querschnitte, die aus älteren schon verholzten Wurzeltheilen genommen wurden, die Gefässe entweder in einer den Gefässcylinder durchsetzenden Reihe, oder in Form eines 3- oder 4-strahligen Sternes geordnet. Oefters beobachtet man, dass, bevor nach Bildung des ersten Gefässes die Gefässbildung nach innen fortschreitet, sich zuerst rechts und links von jenem ein Gefäss ausbildet, wie dies bei Marsilia und mehreren Pterisarten der Fall ist (Taf. XVI, Fig. 12, innerhalb der beiden mit a bezeichneten Zellen liegen je 3 durch ihre dunkeln Wandungen kenntliche Gefässe).

Was die morphologische Deutung der die ersten Gefässe bildenden Zellen betrifft, so ist bei Vergleichung ihrer Stellung mit der ursprünglichen Zellengruppirung, von vornherein klar, dass sie dort, wo 2 gegenüber liegende oder 4 in's Kreuz gestellte Gefässgruppen vorhanden sind, insofern morphologisch ungleichwerthig sein müssen, als die opponirten Gefässe in ungleichen Sextanten in einem grösseren und einem kleineren gelegen sind; während sie bei Vorhandensein von drei Vasalsträngen gleichwerthig sein können. Eine genaue und sichere Bestimmung der Theilungsfolge von der Anlage der 6 primären Cambiumzellen an bis zum Sichtbarwerden der ersten Gefässe ist jedoch nur dort möglich, wo der Cambiumcylinder aus sehr wenigen Zellen besteht, in welchem Falle er, wie wir schon bemerkt haben, immer nur zwei ursprüngliche Vasalstränge besitzt. In den meisten hieher gehörigen Fällen liegen die zwei Punkte, an denen die Gefässbildung beginnt, diametral gegenüber. Da wir nun bei Equisetum nicht selten Cambiumcylinder finden, deren Zellenzahl im Querschnitte nicht mehr als 9 beträgt, und da wir ferner wissen, dass hier die ersten in den 6 ursprünglichen Cambiumzellen auftretenden Theilungen die Bildung der 3 inneren Zellen bedingen, so werden wir schon im vorhinein die beiden ersten Gefässe ihrer Entstehung nach richtig deuten können. Es muss nämlich das eine Gefäss aus der ungetheilten Zelle eines kleineren Sextanten, das andere aus der äusseren Zelle eines einmal getheilten grösseren Sextanten entstehen, wie es auch durch directe Beobachtung nachgewiesen werden kann*) (Taf. XIII, Fig. 7 u. 10, wo das

---

*) Es ist allerdings in den wenigsten Fällen möglich, die Aufeinanderfolge der Längstheilungen der Zellen auf einem Querschnitte des Cambiumcylinders in späteren Stadien desselben mit Sicherheit zu verfolgen. Zur Zeit des Sichtbarwerdens der ersten Gefässe ist die Deutung der Wände in Folge von mancherlei Verschiebungen schon sehr unsicher; die anfangs deutlich erkennbaren Haupt- und Sextantenwände sind nicht mehr erkennbar, und es verschwindet so jeder Anhaltspunkt zur Aufstellung eines Theilungsschemas. Wie wir jedoch später sehen werden, ist die Lage der Scheitelzelle einer Seitenwurzel gegen die Längsachse der Mutterwurzel in allen Fällen dieselbe. Sie kehrt nämlich der Spitze der Mutterwurzel eine Kante, dem Grunde derselben eine Fläche zu. Dadurch ist aber auch die Lage der Hauptwände und theilweise auch der Sextantenwände gegeben. Da nun ferner die Lage der beiden ersten Gefässe der Seitenwurzel ebenfalls immer dieselbe ist, so lassen sich bei wenigzelligen Cambiumcylindern die Zellen bestimmen, welche sich zu Gefässen umbilden. Diese Anhaltspunkte sind auch bei Aufstellung des Theilungsschemas mehrzelliger Cambiumcylinder von grossem Vortheile, und es ist daher am besten, dafür Querschnitte aus Seitenwurzeln zu benützen, die noch theilweise im Gewebe der Mutterwurzel stecken.

Schema in B die morphologische Bedeutung der beiden Gefässe g, g angiebt; in Fig. 7 entspricht das Gefäss auf der rechten Seite einem ganzen kleineren, das Gefäss auf der linken Seite der äusseren Hälfte eines grösseren Sextanten; in Fig. 10 ist es umgekehrt). Näheres folgt im speciellen Theil.

Anders verhält es sich dort, wo die zwei ersten Gefässe sich nicht diametral gegenüber liegen, sondern nur um ein Drittel des Umfanges von einander entfernt sind, wie es bei Pilularia vorkommt. Hier sind die Gefässe morphologisch gleichwerthig, und zwar entstehen sie aus dem ungetheilt bleibenden cambialen Theile zweier kleinerer Sextanten, während der dritte unverändert bleibt. In den Wurzeln dieser Pflanze kommen nicht blos solche diarche unsymmetrische, sondern ebenso häufig auch triarche symmetrische Vasalgruppen vor, deren 3 peripherische Enden den Umfang des Gefässcylinders genau in 3 gleiche Theile theilen. Dies lässt vermuthen, was durch directe Beobachtung wegen des complizirteren Baues der Wurzeln nicht ermittelt werden konnte, dass die Entstehungsweise der zu den 3 ersten Gefässen sich umwandelnden Cambiumzellen bei triarchen Vasalmassen dieselbe sei, wie bei diarchen, und dass bei jenen die Cambiumzellen aller drei kleineren Sextanten zur Gefässbildung verwendet werden. (Taf. XVI, Fig. 14 zeigt den Gefässcylinder einer dünnen Wurzel von Pilularia, und in B das dazu gehörige Theilungsschema; die beiden kleineren Sextanten g, g haben sich in Gefässe umgewandelt, der dritte g′ nicht).

Noch vor dem Auftreten der ersten Gefässe beobachtet man an ebenso vielen (2, 3, 4) peripherischen Stellen des Cambiumcylinders, welche in der Mitte zwischen den Gefässen liegen, und übereinstimmend mit denselben, entweder unmittelbar an die Rindenzellen oder an das Pericambium anstossen, eine lebhafte Zellentheilung. Wenn Pericambium vorhanden ist, so werden nicht selten auch dessen innerste Zellen mit von der Vermehrung ergriffen, so dass dann der innerhalb desselben gelegene Theil des Cambiumcylinders hier in radialer Richtung etwas vorgezogen erscheint (Taf. XIV, Fig. 10, innerhalb p′, wo das Pericambium auf eine kurze Strecke einschichtig ist, während es sonst überall aus zwei Schichten besteht). Kurze Zeit, ehe die ersten Gefässe von den umgebenden Zellen sich unterscheiden, beginnen schon die mit denselben alternirenden kleinmaschigen Gewebegruppen ihre Wandungen zu verdicken. Dieser Verholzungsprozess geht von aussen nach innen. Die dickwandigen Zellen haben eine gelbliche Färbung und sehen manchen Bastzellen höherer Pflanzen nicht unähnlich. Ohne Zweifel sind sie als Bastkörper (Phloëm) zu bezeichnen. Dafür spricht namentlich auch die Analogie mit den Wurzeln der Phanerogamen, wo in gleicher Weise die Bastbündel mit den ursprünglichen Vasalsträngen alterniren. Taf. XVI, Fig. 12 zeigt innerhalb a und a die beiden primordialen Vasalstränge und in b, b die beiden Phloëmstränge, jeden aus 2 etwas dickwandigen Zellen bestehend.

Wir haben nun noch das Wechselverhältniss zwischen dem Wachsthum der Wurzelhaube und dem des Wurzelkörpers, insoferne dies durch Theilungen der Scheitelzelle bedingt ist, zu erörtern. Es handelt sich nämlich darum, zu bestimmen, ob nicht die spiralige Folge der schiefen, die Segmente abschneidenden Wände nach bestimmten Intervallen, etwa nach einem jedesmaligen Umlaufe, durch eine Querwand unterbrochen werde, wie diess Hofmeister*) für Aspidium Filix mas und Hanstein**) für Marsilia angibt. Wenn dies richtig ist, so muss, im Längsschnitte gesehen, jedes folgende Segment seitlich von einer neuen Wurzelkappe bedeckt, oder es muss wenigstens die Anzahl der auf einer Seite zu zählenden Segmente der Anzahl der auf gleicher Länge sich ansetzenden Kappen gleich sein, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Kappen bald ein- bald zweischichtig sind. Diess wurde zweifellos in vielen Fällen wirklich beobachtet, so z. B. bei Equisetum hiemale (Taf. XII, Fig. 9; Taf. XIII, Fig. 2), wo jede Kappe aus zwei Zellschichten besteht, und wo jedem Segment zwei Zellschichten entsprechen.

In anderen Fällen hingegen ist eine solche Regelmässigkeit nicht wahrzunehmen, indem nicht selten die Anzahl der Schichten der Wurzelhaube durchaus kein bestimmtes Verhältniss zu der Zahl der auf einer Seite von ihnen bedeckten Segmente zeigt, also weder ihrer einfachen noch doppelten Zahl entspricht, sondern zwischen beiden die Mitte hält. Es kann diess auf zweierlei Weise erklärt werden. Entweder wird nach jedem Umlaufe der schiefen Theilungen eine primäre Kappenzelle gebildet, wobei jedoch nur die eine oder die andere derselben durch Quertheilung in zwei Schichten zerfällt. Oder es treten die Quertheilungen in der Scheitelzelle auch in kürzeren gleichen Intervallen, etwa nach Bildung von je zwei schiefen Wänden, oder auch nach ungleichen Intervallen ein. Welcher von diesen beiden möglichen Fällen der Wirklichkeit entspreche, lässt sich oft nicht bestimmen, da die Deutung einer Wurzelhaubenschicht, ob sie nämlich unmittelbar aus der Scheitelzelle oder durch Halbirung einer Kappe entstanden sei, schon bald nach ihrer Entstehung höchst schwierig, in älteren Stadien aber geradezu unmöglich ist. Manchmal indess, und dies gilt für viele Farne, kann aus der Entwicklungsschichte gezeigt werden, dass eine Quertheilung der Kappen in je zwei Schichten bei der betreffenden Pflanze überhaupt nicht vorkommt, und dass daher die Zahl der Kappen gleich zu setzen ist der beobachteten Schichtenzahl.

Es gibt noch ein anderes Mittel, um die Zahl der aus der Scheitelzelle gebildeten Kappen zu bestimmen. Wir haben früher schon angegeben, dass dieselben anfänglich zickzackförmig in die Segmente eingreifen. Dem entsprechend zeigt die Epidermis noch einige Zeit lang zahnartige Vorsprünge an den Stellen, wo die Kappen sich ansetzen. In jüngeren Stadien stellt es sich oft auch so dar, als ob die Epidermis in acropetaler Richtung sich dichotomisch theile und in zwei Zellschichten übergehe, nämlich in die Epidermis des anliegenden jüngeren Segmentes und in die darüberliegende Kappe. Sind diese zahnartigen Vorsprünge hinreichend deutlich, so geben sie die sichersten Anhaltspunkte für die Erklärung der Kappen. Häufig werden sie aber schon nahe unter der Scheitelzelle verwischt, und es lässt uns dann auch dieses Mittel im Stich, um einen Schluss auf die Theilungen in der Scheitelzelle zu ziehen.

---

*) Beiträge zur Kenntniss der Gefässcryptogamen Heft II pag. 648.

**) Pringsheim's Jahrbücher Bd. IV, 197.

Nimmt man alle Mittel bei den Beobachtungen zu Hilfe, so erhält man als allgemeines Resultat, dass in den Wurzeln mit dreiseitiger Scheitelzelle durchschnittlich nach je 3 Segmenten eine Kappe gebildet wird. Es gibt Wurzeln, wo dieses Verhältniss constant zu sein scheint. Es gibt andere, wo sich die Zahl der Segmente zu derjenigen der Kappen wie 9 : 4 oder selbst wie 2 : 1 verhält. Es kommt aber auch vor, dass je 4 Segmente aus der Scheitelzelle entstehen, ehe wieder eine Kappe abgeschnitten wird.

Wenn die Wurzeln eine bestimmte Grösse erreicht haben, so beginnen sie meist sich zu verzweigen. Die Stellung der Seitenwurzeln einer beliebigen Ordnung ist, wie bekannt, von der Stellung der in der betreffenden Mutterwurzel verlaufenden primordialen Gefässgruppen abhängig. Da nun jene sich immer nur an der äusseren Seite der letzteren bilden, diese aber in allen Wurzeln einen nahezu parallelen Verlauf haben, so sind auch die Seitenwurzeln in Längsreihen geordnet, deren Zahl von der Anzahl der die Mutterwurzel durchziehenden Primordialstränge abhängig ist. Die Wurzeln der Gefässkryptogamen besitzen deren, wie schon oben erwähnt wurde, in der grossen Mehrzahl der Fälle nur zwei, und wir finden daher die Seitenwurzeln fast immer in zwei sich diametral gegenüberliegende Längsreihen geordnet.

Was die Anlage der Seitenwurzeln betrifft, so ist hervorzuheben, dass dieselben nicht etwa aus Cambiumzellen, sondern aus Zellen der innersten, an den Cambiumcylinder anstossenden Rindenschicht entstehen. Es grenzt also die Mutterzelle einer Wurzel, wenn kein Pericambium gebildet wird, unmittelbar an die Spiral- oder Ringgefässe an, wie dies bei Equisetum der Fall ist; oder sie wird, wenn jenes vorhanden ist, durch eine oder mehrere Zelllagen desselben von den Gefässen getrennt. Da nun die Rindenzellen in Längsreihen geordnet sind, so gehören die Mutterzellen der vor einem Gefässstrange angelegten Wurzeln alle einer solchen Längsreihe an. Bei einigen Pflanzen, wie zum Beispiele bei mehreren Baumfarnen, vor allem aber bei Marsilia, sind sämmtliche einer solchen Längsreihe angehörige Zellen durch eine grössere Weite ausgezeichnet und daher auf jedem Querschnitte sehr leicht zu erkennen (Taf. XVI. Fig. 12, a, a); sie zeichnen sich aber auch auf Längsschnitten vor den benachbarten Zellen durch ihre Kürze aus. Bei Platycerium alcicorne, Polypodium aureum, dimorphum, etc., bei welchen Pflanzen sich die inneren Rindenschichten zu einer Scheide langgestreckter, stark verdickter Zellen ausbilden, bleiben diese vor den Gefässen liegenden Zellreihen von der, sonst im ganzen Umfange eintretenden stärkeren Theilung (vergl. pag. 83), wie auch vom Verdickungsprocesse ausgeschlossen. Einen analogen Charakter, wie diese beiden Zellenreihen, zeigen oft auch die ausserhalb derselben liegenden Rindenzellen. Man beobachtet dann in der kleinmaschigen Scheide zwei gegenüberliegende spaltenförmige Räume, die aus grossen und dünnwandigen Zellen bestehen. Hier ist nachträgliche Theilung durch tangentiale und radiale Wände ausgeblieben. Jede dieser beiden Rindenpartieen entspricht nahezu einem Sechstel des Querschnittes, und es ist höchst wahrscheinlich, dass sie genau aus einem ursprünglichen Sextanten hervorgegangen ist. Es gibt also in diesen Wurzeln zwei ausgezeichnete Sextanten, die nicht blos durch das Vermögen, die ursprünglichen Gefässstränge und die Wurzelanlagen zu bilden, sondern auch durch eine geringere Bildungsthätigkeit in den Rindenschichten von den übrigen sich unterscheiden (Taf. XV, Fig. 2, a).

Diese auf dem Querschnitte so bemerkbare Verschiedenheit zweier Sextanten ist jedoch nur in einzelnen Fällen vorhanden, und es fehlen häufig in der Scheide verholzter Rindenzellen die beiden Spalten gänzlich (Pteris, Blechnum). Oefter sind sogar die beiden der innersten Rindenschicht angehörigen Längsreihen, welche die Seitenwurzeln bilden, nicht einmal durch die Grösse ihrer Zellen vor den übrigen ausgezeichnet, wodurch jeder Anhaltspunkt zur Auffindung einer Wurzelanlage verschwindet.

Wenn eine Wurzelanlage gebildet werden soll, so beginnt sich zuerst eine der genannten Rindenzellen nach allen Dimensionen rasch zu vergrössern. Es tritt nun entweder der Fall ein, dass schon die erste in dieser Zelle entstehende Wand schief gestellt ist, und zu einer Seitenfläche der später dreiseitig werdenden Scheitelzelle wird, oder es gehen der Bildung derselben noch andere Theilungen voraus, wie es bei manchen Farnen beobachtet wurde. In diesen Fällen waren die wurzelbildenden Zellen bedeutend in die Länge gestreckt, und die vor der schiefen Theilung aufgetretene Querwand hatte offenbar nur den Zweck, die Mutterzelle der Wurzel möglichst isodiametrisch zu machen (Taf. XVI, Fig. 3; die Zelle a-b, welche die Länge der übrigen Zellen der gleichen Reihe hat, theilte sich zunächst durch die Querwände c und d, welche auf der optischen Ebene senkrecht stehen, dann folgten die zur optischen Ebene schief geneigten Wände 1, 2, 3, 4, wodurch die Segmente I, II, III, IV gebildet wurden). Die erste schiefe Wand, also diejenige, welche das erste Segment abschneidet, ist immer von der Spitze der Mutterwurzel abgekehrt (Taf. XVI, Fig. 3, 4, 7 Wand 1 und Segment I); dieser folgen dann die beiden anderen, ebenfalls schiefen Wände, die also in Bezug auf die Mutterwurzel rechts und links gestellt erscheinen (Taf. XVI, Fig. 3, Wände 2 und 3; Fig. 1, 2, 6, Segmente II und III). Durch diese 3 Wände ist nun die dreiseitige Scheitelzelle gebildet, welche der Spitze der Mutterwurzel eine Kante, dem Grunde derselben eine Fläche zukehrt. Die nächste Wand schneidet eine Zelle für die Wurzelhaube (Taf. XVI, Fig. 1, 2, 6, k) ab, und nun geht die Weiterbildung auf die oben erörterte Weise vor sich, indem die nächsten 3 schiefen Wände den ersten drei parallel laufen. (Taf. XVI, 1, 3).

Durch die Lage der Scheitelzelle ist natürlich auch die Lage der Segmente und der aus ihnen entstehenden Sextanten bestimmt. Wenn nach Differenzirung des Cambiumcylinders der Querschnitt desselben ein Sechseck zeigt (pg. 80), so müssen, der Lage der Scheitelzelle entsprechend, 2 Seiten desselben der Längsachse der Mutterwurzel parallel sein. An jungen Wurzeln, deren Spitze die Rinde der Mutterwurzel entweder noch nicht, oder eben erst durchbrochen hat, ist diess denn auch die normale Lage des Sechseckes (Taf. XVI, Fig. 5, c–c).

Haben die Wurzeln aber eine grössere Länge erreicht, und beginnt so der Grund derselben zu verholzen, so wird diese ursprüngliche Lage durch Drehungen der Wurzel und Verschiebungen der Zellen nicht selten mehr oder minder verändert. Ganz normal erscheint diese Verschiebung des Sechseckes bei Equisetum (Taf, XIII., Fig. 10), Hier nämlich sind zwei Seiten desselben rechtwinklich auf die Längsachse der Mutterwurzel gestellt, was mit der, durch das Ausdehnungsbestreben der innersten Rindenzellen bewirkten Verschiebung, nach welcher die 3 Hauptwände nicht auf die Ecken, sondern auf die Seiten des Sechseckes treffen, zusammenhängt (Vergl. den speciellen Theil).

Die ersten Gefässe sind, wenn zwei Gefässstränge vorhanden, was ja am häufigsten der Fall ist, ohne Ausnahme rechts und links gestellt, liegen also bei normaler Lage des Sechseckes an den Seiten, bei Equisetum in den Winkeln desselben (Taf. XIII., Fig. 10). Da sich diess nun bei jeder Verzweigung höherer Ordnung ganz in derselben Weise wiederholt, und da die Seitenwurzeln ziemlich genau rechtwinklig abgeben, so schneiden sich die Verzweigungsebenen der successiven Ordnungen ebenfalls unter rechten Winkeln, und es stimmen daher die Wurzeln 4ter Ordnung mit denen der ersten in der Lage der Gefässe und in der Verzweigungsrichtung überein.

In dem Maasse, als die junge Wurzel sich vergrössert, werden auch die seitlich und nach aussen gelegenen Rindenzellen zusammengedrückt. Zwar nimmt die nach aussen unmittelbar anliegende Zellenschicht anfangs an der Ausdehnung wenigstens passiv Theil, indem sie von der sich vergrössernden Wurzel nach aussen gedrängt, dieselbe noch einige Zeit mützenartig überzieht, öfters auch ihre Zellen durch Bildung radialer Wände vermehrt (Taf. XVI, Fig. 1 und 2, die Zellen über II, k, III). Bald jedoch wird sie sammt den darüber liegenden Zellenschichten durchbrochen, und die junge Wurzel gelangt nahezu rechtwinklig auf der Längsachse der Wurzel nach aussen.

Es wurde schon oben erwähnt, dass in der grossen Mehrzahl der Fälle, überall dort nämlich, wo ein Pericambium vorhanden ist, die in der innersten Rindenschicht sich entwickelnde Wurzelanlage von den innerhalb gelegenen Gefässen durch eine oder zwei Zellenschichten getrennt ist. Indem sich nun diese Zellen nach verschiedenen Richtungen theilen, wandeln sie sich später zum Theil in die kurzen, die Gefässstränge der Mutter- und Tochterwurzel verbindenden Gefässzellen um. Dort jedoch, wo, wie bei Equisetum, kein Pericambium vorhanden ist, grenzt die junge Wurzel unmittelbar an das Gefäss an.

Die Seitenwurzeln werden wahrscheinlich ohne Ausnahme schon sehr früh angelegt; man beobachtet die Anfänge schon in geringer Entfernung von der Scheitelzelle. Die Wurzelanlagen verjüngen sich regelmässig nach dem Scheitel hin, so dass die Annahme geboten erscheint, es schreite die Verzweigung der Wurzel ausschliesslich scheitelwärts fort, und es entstehen zwischen den bereits vorhandenen Anlagen keine neuen mehr, in analoger Weise, wie die jüngste Blattanlage an einem Zweige auch immer die oberste ist.

B. Theorie des Wachsthums der Scheitelzellen und der Segmente.

Die Wachsthumsvorgänge in der Wurzel und ebenso im Stengel der Gefässcryptogamen bieten einige Erscheinungen dar, rücksichtlich deren es Interesse gewährt, zu untersuchen, in welcher Weise das Wachsthum der einzelnen Partieen einer Zelle dabei betheiligt ist. Wir finden uns um so mehr dazu veranlasst, als schon von Hofmeister und Pringsheim bezügliche Theorieen aufgestellt worden sind.

Bei der Zurückführung des Wachsthums eines Organs oder Organtheiles auf die elementaren Vorgänge sind folgende drei Punkte festzuhalten:

1) Das Wachsthum einer Zelle und ihre Formveränderung geschieht blos durch das Wachsthum und die Formveränderungen ihrer Membran. Letztere können in aktiver und passiver Weise erfolgen. Der Einfluss des Inhaltes durch positive oder negative Spannung, ferner durch ungleiche Vertheilung, und in Folge derselben durch ungleiche Ernährung der Wandung macht sich immer nur auf indirektem Wege geltend, insofern nämlich entsprechende Veränderungen in der Membran veranlasst werden.

2) Wenn eine Zelle ihre Dimensionen und ihre Gestalt in irgend einem optischen Durchschnitt verändert, so sind bei der Wachsthumstheorie nicht blos die diesen Durchschnitt begrenzenden (zu ihm mehr oder weniger rechtwinkligen) Wände, sondern ebenso sehr oder vielmehr aus naheliegenden mechanischen Gründen, in noch höherem Maasse die übrigen Wände der Zelle zu berücksichtigen.

3) Ebenso darf nicht das Wachsthum und die Formveränderung einer Gewebezelle für sich betrachtet, sondern es muss auch die aktive und passive Rolle aller umgebenden, mit jener verwachsenen Zellen in Anschlag gebracht werden.

Wir hielten es für zweckmässig, auf diese maassgebenden Regeln hinzuweisen, da sie bei den bisherigen Theorieen nicht die gehörige Beachtung gefunden haben. Wir wollen ferner aus dem ganzen Wachsthum der Wurzel nur drei allgemeine Erscheinungen herausheben, nämlich die Formveränderungen der Scheitelzellen, der ganzen Segmente und der ganzen Wurzelkappen. Für eine weitergehende detaillirte Durchführung mangeln die thatsächlichen Anhaltspunkte.

Lassen wir vorerst die Wurzelhaube weg, so besteht die conische Spitze der Wurzel, wie die des Stengels, aus der Scheitelzelle und den Segmenten. Oder vielmehr sie besteht aus den diese Zellen und Zellencomplexe trennenden Wänden, da mit Rücksicht auf das Wachsthum ein Gewebe nicht sowohl eine Vereinigung von Zellen als ein System von Wänden ist. An der kegelförmigen Spitze kommen (wenn die Wurzelhaube weggedacht wird) zweierlei Wände in Betracht: die conische Aussenfläche und die von der Achse nach der Aussenfläche verlaufenden schiefen Hauptwände. Beide müssen einen grössern oder geringern Einfluss auf einander ausüben, je nach der Wachsthumsrichtung, um die es sich handelt.

Wenn in der conischen Spitze keine Wände sich befänden, wie diess z. B. bei den Siphoneen der Fall ist, so würde ihr Wachsthum in jedem Punkt einer

Querzone gleich sein, aber von Zone zu Zone wechseln. Das Nämliche findet auch statt, wenn aus dem continuirlichen Schlauch durch Bildung von horizontalen Querwänden ein gegliederter Faden entsteht, wie bei Cladophora etc. Es ist aber vorerst kein Grund vorhanden zu der Annahme, dass ein conischer Schlauch mit schiefgestellten Hauptwänden sich nicht ebenso verhalte. Diese Wände setzen sich zwar in ungleichen Höhen an den Schlauch an, und werden somit das Bestreben haben, das gleichmässige Wachsthum in jeder Querzone zu stören. Allein was die Längenzunahme betrifft, so können die schiefen Querwände, welche sich meistens unter nahezu rechten Winkeln an die Aussenfläche ansetzen, nur mit sehr geringer Wirksamkeit dabei betheiligt sein, da die Componente, die ihre Spannung in jener Richtung zu entwickeln vermag, kaum in Betracht fallen dürfte. Rücksichtlich der Zunahme des Schlauches in der tangentialen Querrichtung dagegen muss der Einfluss der Hauptwände allerdings bedeutend sein. Er wird aber voraussichtlich keine wesentlichen Differenzen zwischen den verschiedenen Seiten einer Querzone bedingen, da die Hauptwände regelmässig angeordnet sind und als gleichwerthige gewiss auch ein gleiches Wachsthum besitzen.

Wir haben also Grund zu der Annahme, dass das Flächenwachsthum der conischen Spitze von Wurzeln und Stengeln der Gefässcryptogamen in jeder einzelnen Zone in überwiegendem Maasse ringsum gleich sei, und dass der Ansatz der spiralig gestellten Hauptwände nur geringe Störungen verursache, welche ebenfalls in schraubenförmiger Richtung verlaufen. Es muss aber das Wachsthum von Zone zu Zone wechseln, da es daselbst in ungleichen Stadien des Alters sich befindet. Ueber die Art dieses Wechsels geben uns einige Thatsachen Aufschluss.

Die allgemeine Erscheinung, dass beim Scheitelwachsthum die Spitze sich fortwährend verlängert, während in bestimmter Entfernung von derselben das Wachsthum aufgehört hat, drängt uns schon die Annahme auf, dass im Allgemeinen die Einlagerung in der Scheitelregion am grössten sei, und dass sie mit der Entfernung von derselben immer mehr abnehme. Damit stimmt auch die Thatsache, dass die Längen- und Breitenzunahme, ehe sie ganz aufhört, sehr langsam wird. — Die Dimensionen der aufeinander folgenden Segmente und der Scheitelzellen geben uns genauere Anhaltspunkte, unter den beiden nicht zu bezweifelnden Voraussetzungen nämlich, dass die Scheitelzellen vor der Theilung jeweils ungefähr die gleiche Grösse erreichen, und dass die Theilungen derselben ungefähr nach gleichen Zeitintervallen eintreten. Wir wollen keine Messungen angeben, sondern blos die Resultate derselben anführen. Es sind folgende; sie gelten für die Wurzeln und die Stengel der Gefässcryptogamen.

Das Längenwachsthum, d. h. die Zunahme auf einer Linie, welche vom Scheitelpunkt über die Aussenfläche in einer durch die Achse gelegten Ebene gegen die Basis verläuft ($v^1\ a\ a^3$ in Fig. 5 auf Taf. XI), ist zuweilen in der Scheitelzelle am lebhaftesten (in $v^1\ a$); häufiger jedoch ist es in den nächsten 1—2 Segmenten ($a\ a^1$ und $a^1\ a^2$) eben so lebhaft; und, wie es scheint, noch häufiger nimmt es in den obersten Segmenten sogar etwas zu, so dass das Maximum im ersten ($a\,a^1$) oder zweiten ($a^1\,a^2$), in selteneren Fällen auch erst im dritten ($a^2\,a^3$) oder vierten obersten ($a^3\,a^4$) Segment (wenn blos die vertical übereinander liegenden Segmente numerirt werden) eintritt. Von dem Punkte aus, wo das Längenwachsthum sein Maximum erreicht hat, nimmt es dann nach der Basis hin allmählich ab bis zu der Zone, wo es vollends erlischt.

Das Breitenwachsthum, d. h. die Umfangszunahme einer Zone, deren Centrum der Scheitelpunkt oder ein Punkt der Achse ist, hat sein Maximum meistens in der Scheitelzelle selbst, seltener in den obersten Segmenten. Es hängt diess mit der Gestalt des Kegels und mit der Vertheilung des Längenwachsthums zusammen. Wenn das letztere überall gleich gross wäre, so würde das Breitenwachsthum lediglich eine Function des Neigungswinkels sein, den die Oberfläche mit der Achse bildet: es wäre nämlich am grössten da, wo die Oberfläche mit der Achse einen rechten Winkel bildet, und um so kleiner, je mehr sie sich der parallelen Richtung nähert. Da aber das Längenwachsthum von Zone zu Zone wechselt, so muss auch das Breitenwachsthum, wenn es nämlich auf die Zeiteinheit und nicht blos auf die Raumeinheit bezogen wird, dadurch modifizirt werden. Es ist in dem gleichen Verhältniss, in welchem das Längenwachsthum lebhafter von statten geht, grösser als es sonst wäre. An einer genau conischen Fläche z. B., wo der Umfang der Zonen in arithmetischer Progression sich vergrössert, ist bei gleicher Längenzunahme auch ein gleiches tangentiales Wachsthum angezeigt. Wächst aber eine bestimmte Zone doppelt so viel in die Länge als alle übrigen, so ist auch ihr Breitenwachsthum doppelt so gross als in allen darüber (gegen den Scheitel des Kegels) gelegenen; und das Wachsthum aller unteren Zonen erfährt einen gleichen arithmetischen Zusatz.

Wird nun die Gestaltung der Oberfläche und die Vertheilung des Längenwachsthums berücksichtigt, so erhält man das bereits ausgesprochene Resultat, dass entweder die Zonen der Scheitelzelle oder diejenigen eines der obersten 1 — 3 vertical über einander liegenden Segmente am lebhaftesten in tangentialer Richtung sich vergrössern, oder dass auch das Breitenwachsthum in der Scheitelzelle und den genannten Segmenten von gleicher Grösse ist, und dass es ferner von der Zone seines Maximums nach der Basis hin stetig abnimmt.

Das gesammte Flächenwachsthum ergiebt sich aus dem Längen- und Breitenwachsthum. Es hat sein Maximum ebenfalls in der Scheitelzelle oder in den nächsten Segmenten.

Wenden wir uns nach dieser allgemeinen Betrachtung zur Scheitelzelle, so ist an deren Wachsthum zweierlei zu unterscheiden, die Form der Wände und die Winkel. Die entstehenden Theilungswände sind eben oder wenig gebogen, indem sie die concave Seite der Achse und dem Scheitelpunkt zukehren. Diese Wände verändern sich, so lange sie der Scheitelzelle angehören, wenig. Die Endfläche dagegen ist vor der Theilung durch eine Querwand, welche eine Kappenzelle abschneidet, in vielen Fällen mehr oder weniger gebogen; nach der Theilung ist sie immer eben. Das Wachsthum führt hier eine Wölbung herbei. Diess beweist uns, dass das Längenwachsthum (in den von dem Scheitelpunkt ausstrahlenden Richtungen), und dem entsprechend auch das Breitenwachsthum in den um den Scheitelpunkt concentrischen Zonen in der Endfläche grösser ist, als das Breitenwachsthum in den Seitenwänden der Scheitelzelle.

Die Winkel der Scheitelzelle, von oben gesehen, sind in den Wurzeln der Farne, in den Wurzeln und im Stengel von Equisetum nahezu gleich, also ungefähr 60°, und die Theilungswände somit parallel den früher gebildeten Hauptwänden der Segmente. Die Scheitelzellen haben an der Spitze des Vegetationskegels eine etwas schiefe und unsymmetrische Stellung, entsprechend dem ungleichen Alter ihrer Seitenwände, von denen die eine dem Scheitelpunkt am nächsten, die andere am fernsten liegt. Aus der Annahme, dass die verschiedenen Zonen ein ungleiches Längen- und Breitenwachsthum haben, ergibt sich auch eine ungleichmässige Zunahme der Seiten der dreieckigen Scheitelzelle, und wenn diese von oben gesehen, einmal ein gleichseitiges Dreieck ist, eine nothwendige allmähliche Abweichung von dieser regelmässigen Gestalt. Indessen ist diese Abweichung nicht bedeutend; sie beträgt, wenn man ganz extreme Fälle eines ungleichen Zonenwachsthums voraussetzt, nicht mehr als 2—3°, und könnte mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Fehlerquellen, welche vorzüglich aus der Schwierigkeit einer richtigen Orientirung sich ergeben, weder durch Winkel- noch durch Seitenmessungen nachgewiesen werden. Die Folge davon wäre, dass die entstehende Scheidewand nicht genau parallel der frühern Wand verliefe, sondern mit derselben einen Winkel von 1 oder höchsten 1½° bildete.

Halten wir die Thatsachen der Beobachtung und die Forderungen der Theorie über das Wachsthum im Allgemeinen zusammen, so folgt daraus übereinstimmend, dass die genannten Scheitelzellen, von oben angesehen, nahezu gleichzeitige Dreiecke sind, und dass ihre Seitenwände ein nur in geringem Maasse ungleiches Breitenwachsthum besitzen.

Andere Scheitelzellen sind, von oben angesehen, nicht gleichseitige, sondern gleichschenklige Dreiecke. Hofmeister*) gibt für diejenigen mehrerer Farnenstengel nach zahlreichen Messungen die Seitenwinkel zu 69° 14′ und den Scheitelwinkel zu 41° 32′ an. Wenn auch diese bis auf Minuten genauen Maasse in Anbetracht der fortwährenden Wachsthumsveränderungen und der ziemlich weiten Fehlergrenzen beim Messen schwerlich sich bestätigen dürften, so ist doch eine annähernd gleichschenklige Form mit kleinerem Scheitelwinkel als allgemeines Vorkommniss nicht zu bezweifeln. Dagegen sind die übrigen Annahmen Hofmeister's über das Wachsthum der Scheitelzellen und die Verschiebung der Wände weder durch die thatsächlichen Beobachtungen gefordert, noch erscheinen sie geometrisch und mechanisch als möglich. Derselbe nimmt nämlich an, dass die Scheitelzelle, nachdem sie sich durch eine dem einen Schenkel parallele Wand getheilt, in der zu dieser Wand senkrechten Richtung wachse, bis sie wieder die frühere Grösse und Form erreicht habe, in welcher nun eben diese jüngste Wand die Basis des gleichschenkligen Dreiecks darstelle.

---

*) Beiträge zur Kenntniss der Gefässcryptogamen II. pag. 637. ff.

Gegen die Annahme, dass die gleichschenklige Scheitelzelle sich durch eine mit der einen Seite parallele Wand theile, sprechen die Zeichnungen **Hofmeisters** selbst und ebenso unsere Beobachtungen, nach denen die Theilungswand in ihrer Richtung merklich von der Seitenwand der Scheitelzelle abweicht. — Gegen diese Annahme sprechen ferner die so sehr übereinstimmenden Winkelmessungen **Hofmeister's**. Bei der supponirten Gestaltsveränderung der Scheitelzelle müsste nämlich während ihres Wachsthums ein Winkel von 41° 32′ zu 69° 14′ sich erweitern und ein anderer von 69° 14′ zu 41° 32′ sich verengern. Es müssten demnach verschiedene Scheitelzellen auch ganz verschiedene Winkelmessungen ergeben. — Jene Annahme würde überdem die gewiss unwahrscheinliche Folge haben, dass die eine (zweitälteste) Wand der neuen Scheitelzelle, damit diese wieder ihre normale Grösse und Gestalt bekomme, sich nahezu auf das Doppelte verlängern müsste, während die andere (jüngste) Wand gar nicht wachsen könnte. — Endlich sind die Consequenzen für das Wachsthum und die Verschiebungen der die Scheitelzelle umgebenden Segmente nahezu als unmöglich zu bezeichnen, wie die Construction deutlich zeigt.*)

Es scheint uns weder ein thatsächlicher, noch ein theoretischer Grund vorhanden zu sein, welcher die Annahme verböte, dass die gleichschenkligen Scheitelzellen mit ihrer Aussenfläche in demselben Maasse wachsen, als es die Zunahme der Zonen überhaupt bedingt. Die drei Seiten würden somit nahezu gleichmässig sich vergrössern und die Gestalt der Zelle (von oben angesehen) fast dieselbe bleiben. Denn wenn auch das ungleiche Zonenwachsthum etwas grössere Störungen bedingt, als bei den gleichseitigen Scheitelzellen, so könnte es doch, selbst wenn ganz extreme Fälle angenommen werden, einen Winkel nicht mehr als um höchstens 3—4° verändern; und diess müsste sich dadurch ausgleichen, dass die entstehende Wand um fast ebensoviel von der Richtung abweichen würde, die sie sonst bei vollkommen gleichmässigem Wachsthum der Scheitelzelle gezeigt hätte.

Da die thatsächlichen Beobachtungen wegen des raschen Anwachsens der Segmente so spärliche und wenig brauchbare Daten über die Theilung und das Wachsthum der gleichschenkligen Scheitelzellen des Farnenstengels an die Hand geben, so kann, wie diess auch von **Hofmeister** geschehen ist, die Blattstellung mit berücksichtiget werden, da es wahrscheinlich ist, dass die Blätter in ihrer Stellung den Segmenten entsprechen. Nehmen wir die Angaben **Hofmeisters** betreffend die Form der Scheitelzellen bei den Farnen als richtig an, und

---

*) Die einzig richtige Construction scheint uns die zu sein, dass man die Scheitelzelle vor dem Wachsthum mit den umgebenden Zellen, wie sie in der Natur wirklich vorkommen, zeichnet, dass man dann in einer zweiten Figur die in der angegebenen Weise vergrösserte und in ihrer Form veränderte Scheitelzelle mit der gleichen Zahl und Anordnung der umgebenden Zellen aufträgt, und auf diese Weise die Veränderungen prüft, welche die letztern nothwendig erfahren müssen. Die Construction **Hofmeister's** (Taf. VII, Fig. 20) ist uns theilweise unverständlich, und entspricht jedenfalls nicht der geometrischen Aufgabe.

geben wir denselben somit Seitenwinkel von 69° 14′ und einen Scheitelwinkel von 41° 32′, so würde daraus, wenn beim Wachsthum die Lage der Segmente sich nicht verändert, eine Divergenz der Blattstellung von 110° 46′ folgen. Dabei müsste die in der Scheitelzelle entstehende Scheidewand mit der betreffenden Seitenwand, statt ihr parallel zu sein, einen Winkel von 27° 42′ bilden, der aber durch das vorhin besprochene ungleiche Wachsthum der Scheitelzelle um einige Grade sich vermindern könnte.

Der Uebergang von dieser Divergenz von nahezu 111° zu einer solchen von ungefähr 137° könnte nur durch Drehung erfolgen. Was diese Drehung betrifft, so kommt sie wohl in allen Stammspitzen der Phanerogamen vor, da die Blattstellung am ausgebildeten Spross constant eine andere ist, als in der Terminalknospe.*) Es ist anzunehmen, dass sich die Farne der allgemeinen Regel der übrigen Gefässpflanzen nicht entziehen. Kommen aber auch bei ihnen solche Drehungen vor, so ist es wahrscheinlich, dass sie bis in die Scheitelregion hinein thätig sind und schon die Lage und Form der anwachsenden Scheitelzelle selbst etwas verändern; die Folge hievon wäre die, dass die entstehende Scheidewand mit der entsprechenden Seitenwand einen kleineren Winkel bildete, als es ohnedem nothwendig ist. Der Grund, warum die Drehung als schon in der Scheitelregion beginnend angenommen werden darf, liegt darin, dass eben solche regelmässige und unmerklich wirkende Verschiebungsprozesse meistens bis auf die ersten Anfänge zurückverfolgt werden können, wie uns der Wechsel von Quirl- und Spiralstellungen (z. B. bei Equisetum, Lycopodium) und andere analoge Erscheinungen zeigen.

Wenn die Divergenz der Theilungswände in den Scheitelzellen zu 110° 46′ angenommen wird und wenn demnach die Scheidewand mit der hinter ihr befindlichen Seitenwand, wie bereits angegeben, einen Winkel von 27° 42′ bildet, so erhalten die Segmentzellen wegen ihrer ungleichen Höhe auf der kathodischen und anodischen Seite eine ungewöhnliche Gestalt (vgl. Hofmeister Taf. IX, Fig. 18, wo die Divergenz 109° und der genannte Winkel circa 33° beträgt).**)

---

*) Nägeli, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Heft I, 40.

**) Wir bemerken, dass die citirte Figur Hofmeister's, sowie dessen übrige Angaben über die Beziehungen der Gestalt der Scheitelzelle zur Divergenz der Segmente und Blätter auf einem Irrthum beruhen. Derselbe sagt z. B., die gleichschenklige Scheitelzelle mit Seitenwinkeln von 69° 14′ und einem Scheitelwinkel von 41° 32′ entspreche der $\frac{5}{13}$ Stellung der Segmente, somit der Divergenz von 138° 28′, während sie in Wirklichkeit, wie wir oben im Texte angegeben haben, der Divergenz von 110° 46′ oder annähernd $\frac{11}{36}$ entspricht. Diess zeigt sich auch deutlich in der angeführten Figur Hofmeister's, welche die Divergenz von 138° erläutern sollte, in Wirklichkeit aber die Divergenz von 109° gibt. In dieser Figur machen drei Divergenzen noch keinen vollständigen Umlauf aus und das vierte Segment fällt zwischen das erste und dritte; ebenso bilden die Normalen der Theilungswände, worauf es ankommt, den angegebenen Winkel von 109°.

Die $\frac{5}{13}$ Stellung fordert eine Scheitelzelle, deren Seitenwinkel 41° 32′ und deren Scheitelwinkel 96° 56′ beträgt. Bei Divergenzen über 120° ist der Scheitelwinkel grösser als 60° und die Seiten des gleichschenkligen Dreiecks kürzer als die Basis. Bei Diver-

Man könnte nun mit Grund annehmen, dass diese ungewöhnliche Form der Segmente durch das ungleiche Wachsthum der Zonen und die langsame Drehung, verbunden mit dem Bestreben zur Abrundung, immer mehr verbessert und der gewöhnlichen Bildung mit paralleler hinterer und vorderer Wand näher gebracht würde. Allein man dürfte damit schwerlich ausreichen, um die thatsächlichen Beobachtungen zu erklären. Wir glauben uns daher theils durch diese theoretischen Betrachtungen, theils durch unsere Messungen zu der Behauptung berechtigt, dass die Scheitelzellen in der Regel andere Winkel zeigen, als die von Hofmeister angegebenen, und dass die ursprüngliche Divergenz der Wände in der Scheitelzelle und der Segmente viel weniger von derjenigen der späteren Blattstellung abweicht, als es nach den genannten Angaben der Fall sein müsste.*)

Da die Vorgänge in der Stengelspitze der Farne wahrscheinlich auf Drehungen hinweisen, so ergibt sich die Frage, ob diese Erscheinung nicht auch bei Wurzeln vorkomme. Wenn wir von Drehung sprechen, so müssen wir zweierlei Arten derselben unterscheiden: Drehungen, welche erst eintreten oder wenigstens erst sichtbar werden, wenn das Längenwachsthum in dem Gewebe aufgehört hat, und solche, welche an der im Wachsthum begriffenen Spitze ihren Sitz haben. Zu den erstern gehören die gewöhnlichen Drehungen der Stengel, Baumstämme, der Blattstiele u. s. w. Sie kommen auch an den Wurzeln nicht selten vor, und werden besonders dann wahrgenommen, wenn die Nebenwurzeln Längsreihen bilden. Diese Reihen zeigen dann einen spiraligen Verlauf.

Die Drehungen an der wachsenden Spitze ergeben sich aus der Vergleichung der Stellungsverhältnisse, welche verschiedene Theile (Zellenwandungen, Zellen, seitliche Organe u. s. w.) im allerjüngsten und in spätern Zuständen zeigen. Bei den Wurzeln ist es nun viel schwieriger, darüber Gewissheit zu erlangen, als beim Stengel, wo die Blattanlagen sichere Anhaltspunkte geben. Doch gibt es auch bei den Wurzeln einzelne Erscheinungen, welche für ein ziemlich allgemeines Vorkommen der Drehung sprechen. Da dieselben an den betreffenden Orten besprochen werden, so soll hier nur eine kurze Erwähnung folgen.

---

genzen unter 120° ist der Scheitelwinkel kleiner als 60° und die Schenkel länger als die Basis. Bei der Divergenz $\frac{5}{13}$ ist allerdings, wie Hofmeister angibt, der eine Winkel 41° 32′; aber es ist nicht der Scheitelwinkel, sondern es sind die beiden Seitenwinkel, die diesen Werth zeigen. — Demgemäss sind auch die von Hofmeister angegebenen Grössenverhältnisse der Wände der dreieckigen Scheitelzelle für bestimmte Stellungen zu ändern. Bei der $\frac{5}{8}$ Stellung verhält sich beispielsweise die Basis zu einer der beiden Seitenflächen wie 1 : 0,7265 (nicht, wie angegeben ist, 1 : 1,618) etc.

*) Das Manuscript wurde im Juli 1866 vollendet. Seitdem ist in der „Lehre von der Pflanzenzelle“ der Gegenstand neuerdings von Hofmeister besprochen worden. Mit Rücksicht auf die erörterten Punkte wiederholt derselbe seine früheren Anschauungen. Es würde hier zu weit führen, wenn wir auf die ganze Wachsthumstheorie von Hofmeister eintreten wollten; es ist diess auch nicht nothwendig, da wir in der obigen Betrachtung uns bloss an die thatsächlichen Verhältnisse, welche das Wachsthum der Membranen darbietet, gehalten und Theorieen über die rückwärtsliegenden Ursachen derselben vermieden haben.

An den noch im Gewebe der Mutterwurzel eingeschlossenen jungen Wurzeln von Equisetum beobachtet man, dass die Elemente des Cambiumcylinders genau die ursprüngliche Lage behalten haben, während die Zellen der Rinde nach der nämlichen Richtung verschoben sind, dass also die Rinde eine Drehung erfahren hat. Wir verweisen hierüber auf die später (im speziellen Theil) folgende ausführlichere Erörterung.

Die Scheitelzelle der jüngsten Wurzelanlage hat, wie oben gezeigt wurde, eine bestimmte Stellung. Die eine Ecke des Dreiecks ist nämlich nach dem Scheitel der Mutterwurzel gekehrt. Diese Stellung findet man aber häufig mehr oder weniger verschoben, wenn die junge Wurzel etwas länger geworden ist. Die nämliche Verschiebung zeigt bei den Farnen auch der sechseckige Cambiumcylinder und die zwei opponirten Primordialstränge. Wir haben also hier eine Drehung der ganzen Wurzel, sammt dem Cambiumcylinder.

Die Verzweigung der Wurzeln von Isoëtes ist dichotomisch. Die beiden Gabeläste entstehen im Gewebe der Spitze des Mutterstrahls. Auf Querschnitten durch die letztere sieht man die beiden ovalen Anlagen, in denen auch wohl schon wieder ihre vorgebildeten Tochterstrahlen eingeschachtelt sind (Taf. XIX, Fig. 1). Zuweilen bleiben die langen Achsen der beiden ovalen Anlagen ziemlich parallel; meistens verändern sie die ursprüngliche parallele Stellung allmählich mit dem Grösserwerden, indem jede sich etwas um ihre Längsachse dreht. Die Drehung erfolgt in den beiden Gabelästen in entgegengesetzter Richtung, und zwar so, dass wenn zwei Schwesterpaare ovaler Anlagen vorhanden sind, ihre 4 langen Achsen zuletzt wie Radien von dem gemeinsamen Mittelpunkt ausstrahlen.

Nachdem wir das Wachsthum der Scheitelzellen und die daran sich knüpfenden Fragen besprochen, wenden wir uns zur Betrachtung der Veränderungen, welche in den Segmenten vor sich gehen. Das Wachsthum derselben besteht aus verschiedenen Factoren, welche in gewissen Beziehungen unabhängig sind, in andern aber sich gegenseitig bedingen. Beobachten wir zuerst die Segmente auf dem Längsschnitt der Wurzel (oder des Stengels), so sind dieselben unmittelbar nach ihrer Entstehung aus der Scheitelzelle aussen und innen meist ziemlich genau von gleicher Höhe, indem die Hauptwände parallel laufen (Taf. XI, Fig. 4 Segment XV; Fig. 5, Segment XIII). Nachher sind sie aussen höher, wobei die Hauptwände von innen nach aussen fächerartig divergiren (Fig. 4, Segmente XIII, X, VII, IV; Fig. 5, Segmente X, VII, IV). Zuletzt sind sie wieder gleich hoch und die Hauptwände parallel (Fig. 5, Segment I). Damit verändern sie zugleich ihre Stellung; anfänglich bilden sie nämlich mit der Achse den kleinsten Winkel; derselbe wird nach und nach grösser und zuletzt gleich einem Rechten (Taf. XI, Fig. 4 und 5).

Die Ursache dieser Form- und Lageveränderung ist lediglich darin zu suchen, dass die Segmente zuerst stärker mit ihrer äussern, zuletzt stärker mit ihrer innern Seite in die Länge wachsen. Mit dem Verhältniss, in welchem das Wachsthum in der ersten Periode an der äussern Seite überwiegt, hängt der Grad der Aufrichtung der Segmente neben der Scheitelzelle zusammen. Die vollständige Längenzunahme in den beiden Wachsthumsperioden ist selbstverständlich aussen und innen gleich gross, da die Segmente zuletzt wieder, wie anfangs, parallele Hauptwände haben.

Auf dem Längsschnitt der Wurzel sind ferner die Segmente unmittelbar nach ihrer Anlage meistens gerade, indem die Hauptwände sich als gerade Linien darstellen (Taf. XII, Fig. 9 und Taf. XIII, Fig. 2, das oberste Segment rechts). Das Gleiche ist wieder der Fall, wenn sie vollkommen ausgewachsen sind. Die Uebergangsstadien zeigen uns gewöhnlich gebogene, bei den Farnen selbst knieförmig gebrochene Hauptwände, wobei die concave Seite immer scheitelwärts gekehrt ist. (Taf. XIV, Fig 7, Segmente XI, X, VIII, VII, V, IV). Auch hier folgt das Längenwachsthum der vorhin angegebenen Regel, dass es nämlich in der ersten Periode von innen nach aussen, in der zweiten von aussen nach innen zunimmt. Soweit diese Zunahme eine gleichmässige ist (d. h. proportional dem Abstand von der Achse in der ersten, und von der Oberfläche in der zweiten Periode), so bleiben die Segmente gerade. Ist die Wachsthumszunahme (zuerst von innen nach aussen, nachher von aussen nach innen) ungleichmässig, so werden die Segmente gebogen oder knieförmig.

Bei den Farnen z. B., wo der innere cambiale Theil der Segmente sehr bald beinahe horizontal, der äussere Theil fast senkrecht aufgerichtet und von innen nach aussen fast gleich hoch erscheint (Taf. XIV., Fig. 7, Segment VII), muss bis zu diesem Stadium das Längenwachsthum im innern Theil in centrifugaler Richtung rasch zugenommen haben, im äussern Theil aber (wenn die Hauptwände parallel bleiben) überall gleich stark gewesen sein, und zwar genau so stark als in der äussern Gränze des innern Theils. Im zweiten Stadium wächst der innere Theil des Segments im Innern stärker, als aussen und wird dadurch aussen und innen gleich lang und vollkommen horizontal; der äussere Theil dagegen wächst aussen stärker, als innen Im dritten und letzten Stadium wächst der innere Theil überall gleich sehr in die Länge, während der äussere Theil sich innen stärker streckt, als aussen und ebenfalls eine genau horizontale Lage annimmt.

Wir haben die Formveränderung der Segmente als eine Funktion des Längenwachsthums dargestellt; es versteht sich, dass auch die Hauptwände ein entsprechendes Wachsthum in radialer Richtung zeigen müssen. Doch dürfte letzterem in allen Fällen, wo die Segmente fast gerade bleiben, in mechanischer Beziehung nur eine passive Rolle zuzuschreiben sein. Wenn die Segmente sich biegen, so muss die grundsichtige Hauptwand eines jeden stärker wachsen, als die scheitelsichtige, und wenn sie wieder gerade werden, so muss das Umgekehrte der Fall sein. Es wäre möglich, dass dieses ungleiche radiale Wachsthum bei der Formveränderung der Segmente zugleich mit dem Längenwachsthum sich aktiv betheiligte.

Ein zweiter Punkt betrifft die geometrische Gestalt der Segmente und die

Neigung ihrer Wände gegen einander. Denken wir uns vorerst, behufs grösserer Einfachheit, die Wurzelhaube als nicht vorhanden, so sind die jüngsten Segmente auf dem Längsschnitt der Wurzeln wie des Stengels trapezoidisch (zufällig wohl auch rhombisch oder rechteckig); im ausgewachsenen Zustande ist ihre Gestalt immer rechteckig. Bemerkenswerth ist aber, dass nicht etwa, wie man erwarten sollte, die Seiten des ursprünglichen Trapezes oder Rechteckes (Taf. XI, Fig. 5 a c b^1 a^1) in die des späteren Rechteckes übergehen.

Von der obern Seite a c des Trapezes a c b^1 a^1 (Fig. 5 auf Taf. XI) wird nur das Stück a b zur obern Seite a^4 b^4 des Rechteckes a^4 b^4 b^5 a^5, indess das andere Stück b c sammt der innern Wand c b^1 zur innern Seite b^4 c^4 b^5 desselben Rechteckes wird. Dies beweist uns einmal, dass die Aussenwand a a^1 des Trapezes a c b^1 a^1 stärker in die Länge wächst als die Stücke b c und c b^1, da jene die gleiche Grösse erreicht, wie diese zusammen; — und ferner, dass ebenfalls das Stück b a stärker sich ausdehnt als das Stück a^1 b^1, da jenes zuerst kürzer und zuletzt gleich lang ist wie dieses. Die stärkere Zunahme der Längeneinheit in der Aussenwand gegenüber der inneren schwankt zwischen 1½ und 2, die stärkere Zunahme der vordern Hauptwand gegenüber der hintern zwischen 1½ und 1⅔.

In den Wurzeln, in denen aus der Scheitelzelle regelmässig die Wurzelkappen abgeschnitten werden, complicirt sich die Veränderung, indem von der obern Seite e a b c (Fig. 4 auf Taf. XI) blos das Stück a b zur obern Seite a^1 b^1 des Rechteckes wird. Das äussere Stück a e, das anfänglich unter einem oft nahezu rechten Winkel sich an die Oberfläche ansetzt, wird derselbe immer mehr parallel und bildet zuletzt wirklich einen Theil der Aussenwand. Dadurch wird das vorhin erwähnte überwiegende Wachsthum des Stückes a b noch mehr gesteigert; dagegen das überwiegende Wachsthum des Stückes e a^1 (= a a^1 in Taf. XI, Fig. 5) etwas vermindert.

Wir können uns ferner fragen, wie sich das ganze Flächenwachsthum der Aussenwand eines Segmentes verhalte. Dieselbe bildet einen Theil der Kegeloberfläche und nimmt ein Drittel des Umfanges ein. Es ist auch hier zur Erzielung grösserer Einfachheit zweckmässig, die Wurzelhaube wegzudenken, mit anderen Worten, uns an die Segmente des Stengels (z. B. von Equisetum) zu halten. Taf. XI, Fig. 3 gibt eine Ansicht der eben gelegten Kegeloberfläche, Taf. XII, Fig. 7 B eine Ansicht der eben gedachten Scheitelregion. Es handelt sich also um das Wachsthum des Segmentes n l m o m^1 l^1 in Fig. 3 auf Taf. XI, welches wir in Fig. 5 auf dem Längsschnitt als die Linie a a^1 erkennen. Pringsheim*) hat die Theorie aufgestellt, dass zu jeder ursprünglichen Segmentzelle sich eine neue Hälfte bilde. Die ursprüngliche Segmentzelle a c b^1 a^1 in Fig. 5 auf Taf. XI finden wir nach dieser Ansicht in den folgenden Segmenten als das Stück d^1 c^1 b^2 a^2, d^2 c^2 b^3 a^3, d^3 c^3 b^4 a^4 und endlich d^4 c^4 b^5 a^5, die neu sich bildende Hälfte dagegen als das Stück a^1 b^1 c^1 d^1, a^2 b^2 c^2 d^2, a^3 b^3 c^3 d^3 und a^4 b^4 c^4 d^4.

---

*) Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, III. Band p. 492.

Diese Annahme empfiehlt sich allerdings, wenn man blos, wie es eben geschehen ist, die Projection der Kegelfläche auf der Achsenebene berücksichtigt. Sie wird aber geometrisch und mechanisch nahezu unmöglich, wenn man die wirkliche Oberfläche des Kegels in Betracht zieht. Es ist dabei immer festzuhalten, dass die Kegeloberfläche oder die Aussenwand, ehe die Hauptwände sich an sie ansetzen, eine bestimmte Anordnung der Molecüle zeigt, dass diese Anordnung durch den Ansatz der Wände selbst noch nicht geändert wird, dass nun aber durch das eigenthümliche Wachsthum dieser Wände Spannungen in der Aussenwand hervorgerufen und in Folge derselben die normale Einlagerung der Molecüle gestört werden kann. Diess geschieht aber allmählich und vertheilt sich über die ganze Oberfläche, indem in jedem einzelnen Punkte das Flächenwachsthum nach Maassgabe der Spannungen erfolgt. Man kann durch Construction der Kegeloberfläche unter gewissen Voraussetzungen eine Vorstellung von der Vertheilung dieser Spannungen gewinnen; sie sind sehr complizirt, geben sich an einzelnen Stellen als negative, in andern als positive kund, und verbreiten sich über die ganze Aussenfläche eines Segments. Die Einschiebung einer ganz neuen Zellenhälfte, wodurch die ursprüngliche Segmentzelle sich ergänzte, würde ihnen kein Genüge leisten. Nach Constructionen, die wir von der Kegeloberfläche verschiedener Wurzel- und Stengelspitzen (auch von Salvinia) anfertigten, scheint es vielmehr allgemeine Regel zu sein, dass in der Mitte eines Segments die scheitelsichtige Zone am wenigsten, die grundsichtige am meisten in die Länge wächst.

Auf der Oberflächenansicht (Taf. XI, Fig. 3) greifen die Segmente im jüngsten Zustande zickzackförmig in einander, zuletzt berühren sie sich mit ziemlich geraden Seitenwänden, indem die ursprüngliche Zickzacklinie nach und nach sich in eine gerade verwandelt. Diese Zickzacklinie besteht aus den Seitentheilen der Hauptwände, soweit sie an Segmente einer andern Reihe angrenzen. Es ist eine analoge Erscheinung wie diejenige, die bereits am optischen Längsschnitt (Fig. 5 auf Taf. XI) betrachtet wurde, diessmal in der Oberflächenansicht. Die Ursachen davon können auch hier nur die sein, dass die Seitentheile ($l\,n\,l^1$ und $m\,o\,m^1$ in Fig. 3 auf Taf. XI) weniger sich strecken, als die zugekehrte Aussenfläche $n\,o\,m^1\,l^1$ in die Länge wächst. Damit hängt zusammen, dass die scheitelsichtige Seite des Segments immer mehr wächst, als die grundsichtige, $l\,m$ mehr, als $l^1\,m^1$, $l^1\,m^1$ mehr, als $l^2\,m^2$ etc.

Die Berührungslinie der Hauptwände der Segmente auf der eben gelegten Kegeloberfläche ist anfänglich (als Theilungswand der Scheitelzelle), wie bereits angegeben, etwas nach oben gewölbt (Taf. XI; Fig. 3 $n\,l\,m\,o$), seltener ist sie gerade. Zuletzt ist sie nach oben concav und zwar nach Maassgabe des Krümmungshalbmessers, den die eben gelegte Kegeloberfläche bedingt. Daraus folgt, dass die Mitte der Segmente anfänglich in der Längsrichtung mehr zunimmt als die beiden Seiten, später aber wachsen diese stärker, so dass schliesslich die Segmente überall gleich hoch sind, wie von Anfang an.

Beide soeben erwähnten Erscheinungen, das stärkere Breitenwachsthum der obern Seite und das anfängliche stärkere Längenwachsthum der Mitte der Segmente fallen der Zeit nach zusammen. Sie stehen wahrscheinlich mit der früher festgestellten Thatsache, dass Längen- und Breitenwachsthum der Zonen ihr Maximum nahe dem Scheitel haben und in basipetaler Richtung abnehmen, in Verbindung. Im Uebrigen wäre es durchaus verfrüht, die mechanischen Bedingungen dieser Wachsthumsprozesse zu erörtern. Dieselben müssen vorher für viel einfachere Gebilde festgestellt werden.

Es bleibt uns zum Schluss noch übrig, die Wachsthumserscheinungen der Wurzelkappen zu betrachten. Dieselben bieten nur zwei Punkte von einigem Interesse dar, die Veränderungen der Form im Allgemeinen und das Verhalten der einzelnen Theile. Was das Erstere betrifft, so ist jede Kappe ursprünglich eben, später nimmt sie die Form eines Kegelmantels an, der selbst grundwärts in einen Cylindermantel endigen kann. Das Flächenwachsthum, welches diese Formveränderung bedingt, muss auch hier in Längenwachsthum und Breitenwachsthum zerlegt werden. Das erstere bedingt in der noch ebenen Wurzelkappe die Zunahme auf den vom Mittelpunkte ausstrahlenden Radien, das letztere die Zunahme in den Tangentialrichtungen. Die Kappe würde eben bleiben, wenn in jedem Punkte, wo das Längenwachsthum thätig ist, ein dem Radius proportionales Breitenwachsthum erfolgte. Dies ist blos für einen mehr oder weniger beschränkten centralen Theil der Fall. Nach dem Umfange hin bleibt es in steigender Progression hinter jenem Verhältniss zurück. Daher nimmt die Basis des Kegelmantels mit dem Wachsthum der Wurzelkappe eine immer steilere Neigung an und geht, wenn das Breitenwachsthum ganz aufgehört hat, in einen Cylindermantel über.

Dieses Wachsthum der Wurzelkappe ist kein selbständiges. Es richtet sich, da die Wurzelhaube immer dem Wurzelkörper dicht aufliegt, nach dem Wachsthum des letztern. Der Grund liegt offenbar darin, dass beide durch Adhäsion vereinigt sind, und dass daher die Wurzelhaube, als der schwächere Theil, ihr Flächenwachsthum vorzugsweise nach den Spannungen regulirt, welche durch die Vergrösserung des Wurzelkörpers in ihr bedingt werden.

Rücksichtlich des ungleichen Verhaltens der einzelnen Theile der Wurzelkappe ist vorzüglich das Längenwachsthum in der Mitte und am Umfange bemerkenswerth. Wir können dasselbe aus dem Zunehmen der Zellen und Zellencomplexe erkennen. Der Längsschnitt durch die Wurzel zeigt uns die junge Kappe in 4 Zellen getheilt, 2 mittlere und 2 seitliche. Diese Zellen wachsen und theilen sich weiter; aber die innern thun diess viel lebhafter. In einzelnen Fällen lässt sich nachweisen, dass eine innere Zelle selbst 4 und 6 mal stärker in der Längsrichtung sich ausdehnt, als eine äussere, und dass sie in mehrere Zellen sich theilt, während die äussere ungetheilt bleibt.

Wir können von der Wurzelhaube das Nämliche sagen, wie von der Oberfläche des Wurzelkörpers, dass das Längenwachsthum jeder einzelnen Kappe in der Mitte oder in geringer Entfernung davon am lebhaftesten ist und dass es nach dem Rande hin allmählich abnimmt. Offenbar ist die Ursache dieser Thatsache ebenfalls darin zu suchen, dass die Wurzelkappen sich aufeinander und auf dem Wurzelkörper nicht verschieben können und dass sie daher dem Wachsthum des letzteren zu folgen gezwungen sind. Die thatsächlichen Beweise dafür, dass eine

Verschiebung wirklich nicht vorkommt, ergeben sich aus dem Umstande, dass der Rand der Wurzelkappen fortwährend in den nämlichen zahnartigen Ausschnitten des Wurzelkörpers endigt.

Die zwei erörterten Wachsthumsveränderungen an den Wurzelkappen sind desswegen bemerkenswerth, weil sie uns die unumstösslichen Beweise geben für den Einfluss der Spannungen auf die Zunahme der Membranen in verschiedenen Richtungen. Sie bieten somit eine Stütze für die früheren Betrachtungen, welche gleichfalls von der Voraussetzung ausgingen, dass die Spannungen maassgebend seien für die Einlagerungen in jedem einzelnen Punkt und somit für das Flächenwachsthum überhaupt.

C. Specielle Ausführungen.

1. Equisetum.

Wie bei allen Equisetumarten bildet sich auch bei **Equisetum hiemale** unter günstigen Verhältnissen an jedem Knoten ein Gürtel von Wurzeln. Diese sind kurz nach dem Hervorbrechen aus der Rinde des Stengels ziemlich dünn und endigen in eine scharfe, hellgelb gefärbte Spitze. In diesem Zustande sind sie zu Untersuchungen über ihr Wachsthum besonders geeignet, sowohl weil das Gewebe dem eindringenden Messer einen genügenden Widerstand entgegensetzt, als auch, weil es nach Behandlung mit verdünnter Kalilösung so durchsichtig wird, dass man auch durch mehrere Zellenlagen hindurch tiefer liegende Gewebspartieen ganz genau beobachten kann. Desshalb genügt es denn für Längsansichten auch vollkommen, wenn solche möglichst dünne Wurzeln parallel und zunächst ihrer Längsachse, deren Lage durch die scharfe Spitze genau bestimmt ist, gespalten werden. Man wird auf einer der beiden Schnittflächen die Scheitelregion und die dort vorkommende Zellengruppirung beobachten können. Man gewahrt den von einer sehr lang gezogenen Wurzelhaube bedeckten Vegetationskegel, dessen höchste Stelle von der Scheitelzelle eingenommen wird, die, in dem Falle als sie nicht verletzt wurde, als ein mehr oder minder regelmässiges Dreieck erscheint*) (Taf. XIII. Fig. 2, v).

---

*) **Hofmeister's** Abbildungen (Vergl. Unt. Taf. XVIII Fig. 3 und Taf. XIX, Fig. 14), nach denen die Scheitelzelle sich durch Querwände theilen sollte, scheinen Schnitten ihre Entstehung zu verdanken, die, weil von der Achse entfernt, die Scheitelzelle gar nicht zur Ansicht brachten. In beiden Abbildungen sind die im Innern zunächst der Längsachse gelegenen Zellen nicht wesentlich von den äusseren verschieden, und müssen daher Zellen der Rinde und nicht des Cambiumcylinders sein, da letzterer schon unmittelbar hinter der Scheitelzelle sich durch eine viel bedeutendere Zellenlänge von der ersteren unterscheidet. **Hofmeister** vermuthete später (Beiträge Heft II pg. 648), dass die von ihm früher als Scheitelzelle angesehene „linsenförmige“ Zelle die erste Schicht der Wurzelhaube sei, was jedoch nach der ganzen Anordnung der Zellen unmöglich erscheint.

In Bezug auf das **Wachsthum der Wurzelhaube** zeigt Taf. XII, Fig. 1 die Bildung der 4 quadrantischen Zellen aus der primären Kappenzelle vermittelst der Wände 1 und 2. In jeder derselben haben sich die schiefen Wände (3) gebildet, die, wie es meist der Fall ist, unter sich homodrom sind. In Taf. XII, Fig. 6 dagegen setzt sich in der links oben gelegenen quadrantischen Zelle die Theilungswand abweichend von der in den 3 übrigen Zellen herrschenden Richtung statt an die rechts oben liegende Zelle an die links unten gelegene an; in Fig. 3 und 5 stimmt die Richtung dieser Wände nur für je zwei auf einander folgende Zellen überein, und in Fig. 4 wechselt sie in jeder folgenden.

Dass nach Bildung der acht Zellen die Kappe in zwei Schichten zerfällt, zeigt Fig. 10, wo in der zweiten Kappe (l–l) diese Quertheilung aufgetreten ist, in der Zelle links jedoch noch fehlt. Für die Zusammengehörigkeit je zweier Schichten spricht ferner das aus Taf. XIII, Fig. 2 in l–l ersichtliche Aneinanderstossen der Längswände und vor allem noch der Umstand, dass man nicht selten Schnitte erhält, an welchen die Dicke zweier dergestalt zusammengehöriger Schichten kaum grösser ist, als die unmittelbar an sie anstossende jüngere noch einschichtige Kappe*) (Taf. XII, Fig. 9 und 10, k und l–l).

Dieser Bildung von Querwänden folgt nun fast ausnahmslos die Bildung der 4 innern Zellen (Taf. XII. Fig. 3 innerhalb der mit 4 bezeichneten Wände), die durch ihre quadrantische Stellung auch noch auf solchen Schnitten leicht erkannt werden können, die weiter vom Scheitel entfernt sind (Taf. XII, Fig. 2, m, m). Ein anderer Theilungsvorgang, der übrigens ein einziges Mal beobachtet wurde, ist in Taf. XII, Fig. 5 dargestellt: In der rechts oben gelegenen quadrantischen Zelle haben sich zuerst zwei gegen einander convexe Wände (3 und 4) gebildet; die die innere Zelle abschneidende Wand 5 steht genau tangential und setzt sich an die Theilungswände 3 und 4 an. Gleichzeitig mit oder selbst vor der Bildung der 4 innern Zellen kann die Theilung der andern 4 Zellen in der von der Fläche 8zelligen Wurzelhaube und zwar durch schiefe Wände erfolgen (Taf. XII, Fig. 1 und 6, Wand 4).

Dass anfangs zweischichtige Kappen später in der Mitte mehrschichtig werden können, zeigt Taf. XII Fig. 9, m–m und Taf. XIII, Fig. 2, m–m. Es liegt in diesem in der Mitte so überwiegenden Dickenwachsthume der Kappen der Grund für die scharf zugespitzte Form der Wurzelhaube.

Die **schiefen Theilungen in der Scheitelzelle** folgen, so weit wenigstens unsere Beobachtungen reichen, ausnahmslos in linksläufiger Spirale auf einander. (Taf. XII. Fig 7, wo die scheitelwärts auf einander folgenden Seg-

---

*) Es ist möglich, dass zuweilen auch der von **Hofmeister** (Vergl. Unt. pg. 96, Taf. XVIII, Fig. 3) als durchgreifendes Gesetz aufgestellte Fall eintritt, dass nämlich in jeder Kappe immer nur auf der Grundfläche der Mutterzelle rechtwinklig gestellte Wände auftreten, und daher alle aus einer primären Kappenzelle hervorgegangenen Tochterzellen in einer einfachen Schichte liegen, wie es bei anderen später zu betrachtenden Pflanzen in der That der Fall ist. Für **Equisetum** bleibt diess jedoch gewiss nur eine Ausnahme.

mente mit I, II, III, IV und V bezeichnet sind. Die Sextantenwand (s), als die erste in jeder Segmentzelle auftretende Wand, setzt sich in der Regel an der anodischen Seitenfläche derselben an (Taf. XIII, Fig. 8). Doch finden wir auch in dieser Beziehung Abweichungen, wie die in Taf. XIII, Fig. 7 und 9 dargestellten, wo die Sextantenwände unter sich zwar homodrom sind, sich jedoch (vorausgesetzt, dass die Segmentspirale hier ebenfalls linksläufig war, was in diesen beiden Fällen nicht nachgewiesen werden konnte) sämmtlich an den kathodischen Seitenflächen ansetzen. In Taf. XII. Fig. 8 sehen wir die Sextantenwände unter sich heterodrom, indem nur die in dem grössten rechtsliegenden Segmente (I) befindliche sich an der anodischen Seite ansetzt, während die in den beiden andern Segmenten (II, III) auftretenden gegen die kathodischen Seitenflächen gewendet sind.

Die Sextantenwände setzen sich bei Equisetum in grösserer Entfernung vom Mittelpunkte an, als wir diess bei den übrigen Gefässkryptogamen wahrnehmen; in Folge dessen reichen die kleineren Sextanten viel weniger weit hinein als bei jenen. Die ferneren Theilungen erfolgen nach den im allgemeinen Theil erörterten Regeln. Jede der Sextantenzellen theilt sich zunächst durch eine tangentiale Wand (Cambiumwand), wodurch 6 innere Zellen gebildet werden, welche die Anlage des Cambiumcylinders darstellen. Dieselben machen, entsprechend ihrer Entstehungsweise, im Querschnitt der Wurzel zusammen ein Sechseck aus, durch dessen Winkelpunkte die Wände, welche die Sextanten von einander trennen, radial nach aussen verlaufen. Bei Equisetum beobachten wir nun die merkwürdige Erscheinung, und zwar schon zunächst der Scheitelzelle, dass diese 6 aus dem Cambiumcylinder in die Rinde sich fortsetzenden Wände beim Uebertritt in letztere gebrochen erscheinen, und zwar so stark, dass sie fast auf die Mitte der an den Cambiumcylinder angrenzenden Rindenzellen treffen (Taf. XIII, Fig. 1, 8, 9; h' – h sind die gebrochenen Hauptwände) s'–s die gebrochenen Sextantenwände). Nur an besonders günstigen Schnitten, welche, wie Taf. XII, Fig. 8, Segmente zur Ansicht bringen, in welchen erst kurz zuvor die Cambiumwände sich ausgebildet haben (was aber nur bei flachen Scheitelzellen, wie sie öfters an dickeren Wurzeln vorkommen, möglich ist), sieht man deutlich die unmittelbare Fortsetzung dieser Wände h und s aus dem Cambiumcylinder in die Rinde.*)

---

*) Diese Darstellung gründet sich auf die allerdings sehr wahrscheinliche Annahme, dass die dünnern Wurzeln in gleicher Weise sich entwickeln, wie die dickern. Andernfalls müsste man annehmen, dass in den dünnern Wurzeln die Sextantenwände in noch grösserem Abstande von dem Centrum an die Hauptwände sich ansetzten, als es in Taf. XII, Fig. 8 der Fall ist, und dass nur die 3 im Mittelpunkt der Wurzel sich berührenden Sextanten zur Anlage für den Cambiumcylinder beitrügen. Letzterer entstünde also aus 3 Zellen, und die Wände s' in Taf. XIII, Fig. 1, 8 und 9 wären die ersten in diesen drei Zellen.

Wegen der schief stehenden Segmente ist es fast unmöglich, zu einem sichern Ergebniss in Betreff dieser Frage zu gelangen. Da die ersten Theilungen in den Wurzeln sich sonst durch so grosse Regelmässigkeit und Uebereinstimmung auszeichnen, so haben wir uns für die im Texte angenommene Deutung entschieden.

Die durch die Epidermiswand (Taf. XIII, Fig. 2, e) abgeschnittene Aussenzelle bleibt in allen Fällen tangential ungetheilt. Auch radiale Theilungen treten bei dünnen Wurzeln in sehr beschränktem Maasse auf. Die kleinste Zahl der an einer ausgewachsenen Wurzel im Umfange beobachteten Epidermiszellen war 15, was also in diesem Falle für die Mehrzahl der ursprünglichen 6 Epidermiszellen nur eine einmalige Theilung voraussetzt. In Bezug auf die Quertheilungen in der Epidermis, die länger als die radialen Theilungen und durchschnittlich bis zum Hervortritt der Zellen aus der Wurzelhaube andauern, ist hervorzuheben, dass die erste derselben der Zeit nach nahezu mit der in der Rinde zuerst eintretenden Quertheilung zusammenfällt, so dass wir an jedem Längsschnitte Segmente beobachten können, wo in der Rinde und Epidermis erst eine einmalige Quertheilung stattgefunden hat. (Taf. XIII. Fig. 2, vgl. Segment IV und VI, wo sowohl in den Epidermiszellen als in den Rindenzellen je eine Querwand aufgetreten ist. In Taf. XII, Fig. 9 ist das nämliche am zweit-obersten Segment der linken Seite zu beobachten, während auf der rechten Seite bezüglich der radialen Theilungen im zweit-obersten Segment die Rinde, im dritt-obersten dagegen die Epidermis voran ist.) Aber schon im zunächst anstossenden älteren Segmente ist die Zellenzahl der Epidermis bedeutend grösser, als die in der Rinde, in soweit sie nämlich durch Quertheilung bedingt ist (Taf. XIII, Fig. 2, Segment I u. III). Dieser Umstand, verbunden mit der viel länger andauernden Theilungsfähigkeit der Epidermiszellen, erklärt es auch, warum letztere an ausgewachsenen Wurzeln bedeutend kürzer sind, als die Rindenzellen.

Wenn die Epidermis unter der Wurzelhaube heraustritt, wachsen viele ihrer Zellen zu Papillen, später zu Haaren aus, die jedoch im Alter wieder zu Grunde gehen.

Die Ausbildung der äusseren und inneren Rinde ist ganz normal, wie sie im allgemeinen Theil beschrieben wurde. Erstere besteht fast immer nur aus zwei Zellschichten (Taf. XIII, Fig. 3, y), und nur bei den dünnsten Wurzeln bleibt sie entweder im ganzen Umfange oder stellenweise einschichtig (Taf. XIII, Fig. 4, 5, 10, y), in welchem Falle dann auf Querschnitten die radialen Reihen der inneren Rinde bis an die Epidermis verfolgt werden können. Wenn bei dickeren Wurzeln unmittelbar nach Bildung der Cambiumwand radiale Theilungen eintreten, so ist es ein ziemlich häufig vorkommender Fall, dass sich eine solche radiale Wand nur in dem grösseren Sextanten eines Segmentes bildet, der dann den kleineren auch an Breite übertrifft (Taf. XII, Fig. 7 im Segment II, wo die mit 1' bezeichnete Wand die Sextantenwand ist). Letzteres ist Folge davon, dass die Sextantenwand die Aussenwand des Segments nicht halbirte, sondern etwa den dritten Theil derselben abschnitt. Die vom Cambiumcylinder ausgehenden radialen Reihen können also in Bezug auf ihre Zahl zwischen 6 und 12 schwanken, in welch letzterem Falle in jedem Sextanten die radiale Theilung eingetreten ist (Taf. XII, Fig. 8), was jedoch nur selten vorkommt (vgl. Taf. XIII, Fig. 10 u. 7, wo um den Cambiumcylinder 6 Rindenzellen liegen, ferner Fig. 5 mit 7, Fig. 9 mit 8 und Fig. 8 mit 9 Rindenzellen um den Cambiumcylinder).

Was das Längenwachsthum der Rinde betrifft, so scheint ausnahmslos die erste Querwand nach Bildung der Epidermis und vor der Entstehung der Rindenwand aufzutreten. Taf. XII, Fig. 9 zeigt uns nämlich einen sehr häufig zu beobachtenden Fall, der unmöglich anders gedeutet werden kann. Im zweitobersten Segment rechts ist die Rindenzelle (zwischen e und c) durch eine Querwand in 2 hintereinander liegende Hälften zerfallen. Die vordere, der Scheitelzelle nähere, ist noch ungetheilt; in der hinteren hat sich schon die Rindenwand (r) gebildet.

Die Zellen jeder dieser beiden Hälften werden später abermals durch Querwände getheilt, die in den benachbarten Zellen so ziemlich in derselben Höhe auftreten. Die späteren Quertheilungen lassen indessen weder in ihrer Lage noch Aufeinanderfolge eine bestimmte Regelmässigkeit erkennen. Sie hören allmählich von innen nach aussen auf, so dass durchschnittlich die Rindenzellen in dieser Richtung auch an Länge abnehmen.

Bald nachdem die Gewebetheile unter der Wurzelhaube hervorgetreten, beginnt eine von aussen nach innen fortschreitende Bräunung der Zellwände, die in der Epidermis und äusseren Rinde auch von einer Verdickung der Zellen begleitet ist. In der inneren Rinde mangelt letztere in der Regel und nur hie und da werden einige Partieen derselben, die zunächst an die äussere Rinde anstossen, dickwandig, besonders dann, wenn in ihr noch weitere radiale Theilungen aufgetreten waren.

In der inneren Rinde entstehen an den Punkten, wo die tangentialen Wände der benachbarten Zellen aneinderstossen, schon bald nach deren Bildung kleine viereckige Intercellularräume. Dieselben sind, der concentrischen Anordnung der Zellen entsprechend, ebenfalls in concentrische Kreise geordnet und nehmen von aussen nach innen an Grösse ab. Die in radialen Reihen hinter einander liegenden vereinigen sich allmählich von aussen nach innen zu einem einzigen Luftgange. Es entsteht auf diese Weise ein Kreis von Luftgängen, die in ihrer Zahl den radialen Zellenreihen entsprechen. Endlich zerreissen die zwischen ihnen liegenden Zellen und verschwinden nach und nach, wodurch eine einzige hohlcylindrische Luftlücke entsteht. Die Zellen der beiden innersten Rindenschichten jedoch bleiben unversehrt und ohne grössere Luftgänge, und umgeben noch längere Zeit den Gefässcylinder als eine Art Schutzscheide (Taf. XIII, Fig. 3; die innere mit z bezeichnete Rinde ist hier nur dreischichtig; zwischen den Zellen des äusseren Ringes befinden sich die grossen, mit u bezeichneten Luftgänge). Im späteren Alter zerreisst auch der äussere durch die dickwandigen Rindentheile gebildete Hohlcylinder, so dass zuletzt nur der centrale Gefässcylinder übrig bleibt.

Gehen wir nun zur Ausbildung des Gefässcylinders über. Derselbe besteht anfangs aus 6 Zellen. Fast ausnahmslos*) wird nun in den 3 den grösseren Sextanten entsprechenden Zellen der innere Theil durch eine tangentiale Wand abgeschnitten, wodurch 3 im Centrum zusammenstossende innere Zellen gebildet werden (Taf. XIII, Fig. 7, 8, 9, wo die betreffenden Wände mit 3 bezeichnet sind; in Taf. XII, Fig. 8 hat sich erst eine Wand mit 3 bezeichnet, gebildet). In manchen Fällen ist damit das Dickenwachsthum des Cambiumcylinders beendet, der also auf Querschnitten nur aus 9 Zellen besteht. Ja es wurden Querschnitte beobachtet, bei denen der Gefässcylinder nur aus 7 Zellen (6 peripherischen und 1 centralen) bestand, wo also nur eine der 6 ursprünglichen Cambiumzellen sich theilte. In jedem Falle aber bleibt eine dieser 3 inneren Zellen, die sich oft schon bei ihrem Entstehen durch eine grössere Weite auszeichnet, von jeder weiteren Theilung durch Längswände ausgeschlossen. Indem sie nun rasch in die Dicke wächst, und die benachbarten Zellen bei Seite drängt, erscheint sie an Querschnitten ziemlich genau central gelegen. Sie bildet sich zu dem in jeder Wurzel zu beobachtenden centralen weiten Gefässe um, welches daher auch an gelungenen Längsschnitten bis an die Scheitelzelle verfolgt werden kann.

---

*) Der einzige beobachtete Ausnahmsfall ist in Tafel XIII Fig. 10 dargestellt, wo zwei Segmente nicht durch tangentiale, sondern durch schiefe Wände sich getheilt haben. Diese Wände sind in Fig. 10, B. mit 3' bezeichnet.

Die Zellenvermehrung, welche auf dem Querschnitt in den 6 peripherischen Cambiumzellen beobachtet wird, geht meist durch schiefe Wände vor sich. Die Figuren 7, 8, 9 auf Taf. XIII mit beigefügten Schemen (B, wo die Wände nach ihrer Aufeinanderfolge mit 3, 4, 5 nummerirt sind) geben solche Fälle an, an denen man bei gegenseitiger Vergleichung immerhin eine gewisse Gleichmässigkeit, sowohl in der Lage, als auch in der Aufeinanderfolge der weiteren Theilungen wahrnehmen wird. So setzt sich in den kleineren Sextanten die erste Wand unter einem spitzen Winkel an eine Seitenwand an (Taf. XIII, Fig. 7, 8, 9, die mit 4' bezeichneten Wände), während in dem aus dem grösseren Sextanten hervorgegangenen und schon in zwei Zellen zerlegten Theile die nächste Theilung rechtwinklig auf die Wand 3, welche die Innenzelle abgeschnitten hatte, zu stehen kommt (Fig. 7, 8, 9 die mit 4 bezeichneten Wände).

Eigenthümlich verhält sich das Längenwachsthum des Cambiumcylinders. Während sonst bei allen andern Wurzeln der cambiale Theil der Segmente während längerer Zeit sich weniger in die Länge streckt, als der äussere Theil, ist dieses schwächere Längenwachsthum bei Equisetum auf ein oder höchstens zwei übereinanderliegende Segmente beschränkt. Dann streckt sich der Cambiumcylinder mehr als die Rinde. Man sieht auf Längsschnitten, wie seine Zellen selbst in die rückwärts angrenzenden Complexe hineinragen, welches Missverhältniss später durch stärkeres Wachsthum der Rinde wieder ausgeglichen werden muss. In Taf. XIII, Fig. 2 ist das Segment VII in seinem cambialen Theil (innerhalb c) deutlich kürzer als in seinem äussern Theil; in den Segmenten VI und IV dagegen ist der cambiale Theil länger als der Rindentheil. Ebenso ist in Taf. XII, Fig. 9 der cambiale Theil innerhalb c im obersten Segment auf der linken Seite kürzer, im zweitobersten Segment auf der rechten Seite dagegen länger, als der äussere Theil.

In Bezug auf die Quertheilungen im Cambiumcylinder ist es unmöglich, ihr Auftreten mit der Sicherheit zu verfolgen, wie diess in der Rinde der Fall ist.

Es liess sich nur ermitteln, dass jedenfalls vor den Querwänden Längswände gebildet werden, und dass erstere später, als in der Rinde auftreten. So sehen wir in Taf. XIII. Fig. 2 den Rindentheil des Segmentes VI einmal quer getheilt, während der cambiale Theil desselben noch ungetheilt erscheint; im anstossenden Segment III kommen auf drei Zellen in der Rinde zwei im Cambiumcylinder; im Segment I gehen ebenfalls auf zwei Cambiumzellen drei oder vier Rindenzellen. Wie oft aber Quertheilungen überhaupt auftreten können, und ob sie nicht vielleicht nur einmal (höchstens zweimal) stattfinden, darüber lässt sich nach unsern Beobachtungen, welche diesen Punkt besonders berücksichtigten, mit Bestimmtheit noch kein Ausspruch thun.

Es wurde bereits erwähnt, dass bei Equisetum kein Pericambium gebildet wird. Es liegen daher die ersten Gefässe an der Peripherie des Cambiumcylinders. In den dickeren Wurzeln beginnt fast durchgehends die Gefässbildung an drei Puncten, die gleichmässig auf den Umfang vertheilt sind. Wenn nur ein centrales Gefäss*) vorhanden ist, sind die drei ersten Gefässe von diesem durch eine Zellschichte getrennt, deren Zellen sich höchst selten zu Gefässen umbilden, so dass jeder der drei Primordialstränge nur aus einem einzigen Gefäss besteht. Das centrale Gefäss verholzt sehr spät, lässt sich aber allerdings durch seine Weite viel früher erkennen, als die drei an der Peripherie des Cambiumcylinders gelegenen. In dünneren Wurzeln sind häufig nur zwei, diametral gegenüberliegende Gefässe vorhanden; das centrale Gefäss fehlt. (Taf. XIII, Fig. 7, 10.)

In Bezug auf die morphologische Deutung der ersten Gefässe wurde mit Hülfe der schon im allgemeinen Theile bezeichneten Anhaltspunkte, die sich an Seitenwurzeln aus der constanten Lage der Haupt- und Sextantenwände gegenüber der Mutterwurzel ergeben, aus Taf. XIII Fig. 10 das Theilungsschema (Fig. 10, B) bestimmt. Es ergibt sich daraus die schon oben allgemein ausgesprochene Thatsache, dass die beiden ersten Gefässe, wenn sie genau opponirt sind, aus ungleichwerthigen Sextanten entstehen. Im Segment rechts nämlich bildet sich der ganze dem Cambiumcylinder angehörige Theil des kleineren Sextanten zum Gefässe um, im Segmente links jedoch nur die äussere Zelle des dem grösseren Sextanten angehörigen Theiles. In Taf. XIII, Fig, 7 ist ganz dasselbe der Fall. Bei reichzelligeren Cambiumcylindern lässt sich zur Zeit der Gefässbildung eine Gruppirung der Zellen nach ihrer Entstehung nicht mehr mit Sicherheit durchführen. Untersucht man aber jüngere Stadien solcher Cambiumcylinder, wo man die Anordnung noch mit Sicherheit verfolgen kann, so erkennt man, wie dies in Taf. XIII. Fig. 8 der Fall ist, ganz deutlich, dass die Zellen, die sich in dünnen Wurzeln zu Gefässen umbilden, hier noch weiter getheilt sind. Es müssen sich daher die Gefässe aus Zellen späterer Generationen und anderer morphologischer Bedeutung entwickeln.

Das Verhältniss des Cambiumcylinders zu der Rinde veranlasst uns noch zu einer Bemerkung über das Wachsthum im Allgemeinen. Wir haben oben angeführt, dass die 6 ursprünglichen Verticalwände des Cambiumcylinders schon sehr früh sich nicht mehr in die Wände der Rinde fortsetzen, sondern auf die Mitte der 6 innersten Rindenzellen treffen. Man könnte geneigt sein, dies als eine Folge des allgemeinen Bestrebens zu erklären, welches die noch im Wachsthum begriffenen Zellen haben, sich abzurunden. Desswegen beobachten wir eine ähnliche Erscheinung zwischen Epidermis und äusserer Rinde, ferner zwischen dieser und der inneren, wo ebenfalls die Zellen anfänglich in Reihen liegen, und später alterniren. Doch scheint es uns zweifelhaft zu sein, ob diese Erklärung allein ausreiche, und zwar vorzüglich aus den zwei Gründen, weil die Wurzeln der übrigen Gefässcryptogamen mit dreiseitiger Scheitelzelle sich anders verhalten, und weil hier eine durchgehende Verschiebung der Rinde auf dem Cambiumcylinder vorkommt.

---

*) Bei E. variegatum findet man häufig drei centrale Gefässe.

Es ist nun bemerkenswerth, dass es noch eine zweite Erscheinung gibt, nach welcher die Wurzeln von Equisetum eine Ausnahme machen, nämlich das starke Längenwachsthum des Cambiumcylinders in sehr geringer Entfernung hinter der Scheitelzelle, von dem gleichfalls schon gesprochen wurde. Dieses Längenwachsthum ist so beträchtlich, dass, was sonst nirgends vorkommt, der cambiale Theil der jungen Segmente grundwärts über den Rindentheil hinausragt, was nur durch eine Verschiebung möglich ist. Die Ausdehnung muss offenbar eine passive sein. Denn der ausgewachsene Cambiumcylinder (von der Basis der Wurzel bis da, wo die Streckung aufgehört hat) ist etwas kürzer, als die zugehörige Rinde; dadurch wird ein stärkeres Wachsthum des apicalen, noch nicht fertigen Cambiumcylinders verursacht. Wäre letzteres activ, so könnte es sich nicht grundwärts, es müsste sich vielmehr scheitelwärts geltend machen. Der apicale noch wachsende Theil des Cambiumcylinders befindet sich also bezüglich der Längsrichtung in negativer, die Rinde dagegen in positiver Spannung. Der Schluss liegt nun nahe, dass sich die Rinde um den Cambiumcylinder drehe; denn ein Cylinder, dessen äusserer Theil sich stärker in die Länge zu strecken geneigt ist, als der innere Theil, hat in Folge dessen auch die Neigung zur Drehung. Die Drehung der Rinde auf dem Cambiumcylinder muss aber die Folge haben, dass die ursprünglich in radialen Reihen liegenden Zellen später alterniren, und dass die durchgehenden Radialwände später gebrochen erscheinen.

In bemerkenswerther Uebereinstimmung mit dieser Ansicht steht die Lage der radialen Wände im Cambiumcylinder und in der Rinde. Im ersteren nämlich haben sie an jungen noch im Gewebe der Mutterwurzel eingeschlossenen Wurzeln die normale ursprüngliche Richtung, indem die eine der drei Hauptwände nach dem Scheitel der Wurzel gerichtet ist und die beiden Primordialgefässgruppen rechts und links liegen (Taf. XIII, Fig. 10, A und B). In der Rinde dagegen sind die radialen Wände und die Reihen der Rindenzellen aus ihrer gewöhnlichen Stellung verrückt. Das Sechseck der innersten Rindenzellen nämlich, welches den Cambiumcylinder umschliesst, hat scheitelwärts und grundwärts je eine Seite, während ursprünglich und bei anderen Wurzeln sich dort Ecken befinden. Es hat sich also nicht der Cambiumcylinder, sondern die Rinde gedreht.

Wir bemerken jedoch ausdrücklich, dass wir die Drehung der Rinde in Folge ungleichen Längenwachsthums bloss als eine naheliegende Möglichkeit hinstellen, die erst noch durch weitere Thatsachen zu prüfen wäre. Namentlich fehlen uns successive Schnitte durch die nämliche junge Wurzel, die noch nicht das Rindengewebe der Mutterwurzel durchbrochen hat. Die Darstellung solcher Schnitte aber ist bei dem Umstande, dass sich die Wurzeln sehr spärlich verzweigen, mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Aus demselben Grunde gelang es uns auch nie, die Anlage einer Seitenwurzel bis zur Entstehung ihrer ersten Scheitelzelle zurück zu verfolgen.

2. Polypodiaceae.

So weit unsere Untersuchungen reichen, haben alle Farne in den Wurzeln dreiseitige Scheitelzellen.*) In Taf. XIV Fig. 1, 2, 4 und Taf. XV, Fig. 4 sind mehrere derselben im Querschnitt abgebildet. Die Segmentspirale ist meist rechtsläufig, und nur bei Pteris aquilina wurde häufig auch linksläufige Drehung beobachtet.

In Bezug auf die Bildung der Wurzelhaube wurde schon im allgemeinen Theil erwähnt, dass meistens nach drei schiefen Wänden in der Scheitelzelle durch eine Querwand eine primäre Kappenzelle abgeschnitten wird. In diesem Falle muss im Längsschnitt auf jedes Segment je eine Kappe treffen. Wir finden nun aber auch häufig, dass die Zahl der Schichten der Wurzelhaube grösser ist, als die Zahl der Segmente, indem sie sich zu einander verhalten wie 3 : 2 oder 4 : 3. Man könnte nun vermuthen, dass, wie dies bei Equisetum beobachtet wurde, einzelne Kappen zweischichtig werden, indess andere einschichtig bleiben. Dagegen spricht aber der Umstand, dass man nie, wie diess bei Equisetum (vgl. Taf. XII, Fig. 10, l-l) wirklich der Fall ist, zwei Schichten findet, die stellenweise in eine einzige übergehen. Ferner der Umstand, dass man nie, wie diess ebenfalls bei Equisetum wirklich vorkommt, eine junge Wurzelhaubenschicht findet, welche fast die gleiche Dicke hat, wie die zwei nächst älteren zusammen. Es nehmen im Gegentheil die Wurzelhaubenschichten von innen nach aussen stetig an Dicke zu (Taf. XIV, Fig, 7, k, l, m, n; Taf. XV, Fig. 1 und 3), so dass man also jede Schichte für eine vollständige Kappe erklären muss.

Eine bemerkenswerthe Thatsache ist auch die, dass an gewissen Stellen jedem Segmente auf der einen Seite eine Schichte entspricht, während auf der andern Seite einmal zwei Schichten der Wurzelhaube auf ein Segment treffen. Die Annahme, es sei eine Quertheilung nur in der einen Hälfte der Kappe eingetreten, ist unmöglich, denn man müsste dann die zwei betreffenden Schichten in eine übergehen sehen. Wir können uns aber diese Erscheinung durch die Annahme erklären, dass eine Querwand regelmässig oder nur zuweilen schon nach zwei schiefen Theilungen aufgetreten sei. In Taf. XV, Fig. 3 ist das zweitjüngste Segment rechts von zwei Schichten (l und m) bedeckt, während über dem ihm gegenüberliegenden links nur eine einzige (l) liegt. Fig. 3 B zeigt im schematischen Längsschnitt, wie diese Anordnung durch einen ungleichen Wechsel der Theilungen zu erklären ist. Die successiven Wände in der Scheitelzelle sind mit 1—12 bezeichnet; die Wände 2, 6 10 sind nicht sichtbar. Zwischen den beiden Querwänden 4 und 8 liegen die drei schiefen Wände 5, 6 und 7; zwischen den beiden Querwänden 8 und 11 jedoch nur zwei, nämlich 9 und 10; es grenzen daher an den vorspringenden Theil des von den Hauptwänden 7 und 3 begrenzten Segmentes rechts zwei, links nur eine Kappe an. Etwas ähnliches sehen wir in Fig. 1, wo an das zweitjüngste Segment links zwei Kappen (k und l) anstossen. Die schematische Figur 1 B erläutert die mögliche Aufeinanderfolge der Theilungen. Man ersieht daraus, dass zwischen den Querwänden 4 und 8 die gewöhnliche Zahl von drei schiefen Theilungen, zwischen 8 und 11 nur 2 solche liegen.*)

---

*) Die Untersuchungen beschränkten sich auf die Polypodiaceen. — Für Pteris aquilina gibt Hofmeister (Beiträge . . Heft II pg. 611 et 629) zweischneidige Scheitelzellen an. Die abgebildeten Längsschnitte (Taf I Fig. 3. Taf II Fig. 1, Taf III Fig. 6 b) sprechen eben so gut für dreiseitige Scheitelzellen. Der in Taf IV Fig. 7 b abgebildete Querschnitt zeigt jedenfalls eine schiefe Ansicht, wie es aus der ungleichen Ausbildung der beiden Hälften erhellt. Wir haben auch bei dieser Pflanze bloss dreiseitige Scheitelzellen gesehen.

Bei den meisten Farnen setzen sich die Längswände in der Kappe, oft selbst die nach der Bildung der 8 Zellen auftretenden, unter rechten Winkeln an, wodurch das Zellennetz äusserst regelmässig wird. (Taf. XIV, Fig. 3 eine junge Kappe von der Fläche gesehen). Ueberdem kommen mancherlei Abweichungen vor, die jedoch so geringfügiger Natur sind, dass sie das allgemeine Theilungsgesetz durchaus nicht modificiren. Nur bei Polypodium vulgare wurde einmal eine grössere Abweichung vom normalen Typus beobachtet. Während nämlich in drei quadrantischen Zellen die Theilung in gewöhnlicher Weise eintrat, war in der vierten eine der Peripherie gleichlaufende Wand ausgebildet, wie es Hanstein**) für Marsilia als allgemeines Gesetz aufgestellt hatte.

In Bezug auf die Ausbildung des Wurzelkörpers ist den schon oben im allgemeinen Theil besprochenen Verhältnissen wenig Wesentliches mehr beizufügen. In Folge des ungleichmässigen Längenwachsthumes von Rinde und Cambiumcylinder nehmen die Segmente auf Längsschnitten nicht selten eine knieförmige Biegung an, indem ihre äusseren Theile oft mit der Längsachse der Wurzel fast parallel sind, während die inneren schon nahezu darauf rechtwinklig stehen (Taf. XIV, Fig. 7). Der knieförmige Absatz fällt meist mit der Cambiumwand zusammen. Dieselbe schneidet ungefähr die Hälfte der Segmentzelle, oft sogar einen noch grössern Theil derselben, für das Cambium ab. Es hat demgemäss der Cambiumcylinder unmittelbar nach seiner Anlage schon nahezu seine normale Dicke, und an Schnitten, die von der Scheitelzelle ziemlich entfernt sind, ist öfters sein Durchmesser immer noch grösser, als die Dicke der Rinde (Taf. XIV, Fig. 8 und Taf. XV, Fig. 6, wo p-p den Cambiumcylinder bezeichnet).

---

*) Die beiden Schemata wurden unter der Annahme von rechtsläufigen Segmentspiralen aufgestellt. Nimmt man linksläufige Spiralen an, so gestalten sich jene nicht wesentlich verschieden.

**) l. c pg. 38.

Die durch die Epidermiswand abgeschnittene Zelle, ist, wenn sie sich tangential nicht mehr theilen soll, wie dies bei Pteris und Blechnum der Fall ist, sehr schmal, nimmt aber schon im anliegenden Segmente bedeutend an Dicke zu. Bei Polypodium, Struthiopteris, Aspidium, Cystopteris schneidet die Epidermiswand eine dickere Zelle ab, welche die Mutterzelle zweier Zellschichten darstellt, von denen die äussere die eigentliche Epidermis ist. Die unter ihr gelegene und als innere Epidermis zu bezeichnende bleibt meist tangential ungetheilt (Taf. XV. Fig. 3, 9 Fig. 7, 9); in anderen Fällen hingegen, wie bei Aspidium Filix mas und Struthiopteris germanica, theilt sie sich stellenweise ein-, selbst zweimal in dieser Richtung.

Was den Unterschied zwischen äusserer und innerer Rinde betrifft, so wurde schon im allgemeinen Theil erwähnt, dass er besonders dort auffallend wird, wo die inneren Rindenpartien sich durch häufige radiale Theilungen und durch spätere Verdickung der Wandungen zu einer Art verholzter Scheide umbilden, wobei jedoch die innerste Zellschicht dünnwandig bleibt. Theilung und Verdickung gehen in centrifugaler Folge vor sich. Letztere fällt der Zeit nach mit dem Sichtbarwerden der ersten Gefässe zusammen. Ihre Zellen sind meist porös; die Poren sind spaltenförmig und in Spirallinien gestellt. Die Länge dieser dickwandigen innern Rindenzellen übertrifft die der äusseren Rinden- und Epidermiszellen oft um ein bedeutendes. So finden wir, um nur ein Beispiel anzuführen, bei Polypodium dimorphum die ausgewachsenen Epidermiszellen 50 und die äusseren Rindenzellen im Mittel 100 Mik. lang, während die innern prosenchymatischen Rindenzellen bis 700 Mik. Länge erreichen. Die Verdickung erstreckt sich öfters auch, zugleich mit einer vorausgehenden starken Bräunung, auf die äusseren Rindenpartieen. Meist sind es rundliche Poren, seltener beobachten wir eine äusserst zierliche spiralige und netzfaserige Verdickung, ähnlich der, wie sie in der Wurzelhülle epiphytischer Orchideen vorkommt. Es ist dies der Fall bei Platycerium alcicorne, Polypodium aureum, P. dimorphum, etc.

Die immer dünnwandige innerste Schicht der inneren Rinde ist nur in jüngeren Wurzeltheilen erkennbar; in älteren hingegen, in denen sich schon stärkere Verdickungsschichten ausgebildet haben, werden ihre Zellen zusammengedrückt und undeutlich. Die zwei vor den Primordialgefässgruppen liegenden Zellenreihen, aus denen die Wurzelanlagen hervorgehen, sind nur selten durch ihre Grösse erkennbar, wie zum Beispiele bei mehreren Baumfarnen, wo sie die übrigen derselben Schicht angehörigen Zellen oft um das Dreifache an Weite übertreffen.

Der Entwicklung des Cambiumcylinders wurde ebenfalls schon im allgemeinen Theile gedacht. Das Pericambium ist bei allen Farnen vorhanden, meist aber nur einschichtig. Falls es mehrschichtig auftritt (Taf. XIV, Fig. 10, p) geht es immer aus einer einzigen Zellschicht hervor. Taf. XV, Fig. 6, p zeigt uns ein noch einschichtiges Pericambium, in dessen Zellen erst radiale Theilungen eingetreten sind. Soll ein mehrschichtiges gebildet werden, so vergrössern sich die Zellen bedeutend und theilen sich dann in der Regel kreuzweis, wobei jedoch die tangentiale Wand der radialen vorausgeht (Taf. XIV, Fig. 8, 9, p.).

Die Längstheilungen durch radiale Wände treten im Pericambium spärlicher auf, als im übrigen Cambium; desshalb sind seine Zellen bedeutend grösser. In der Breite (in tangentialer Richtung) kommen sie den innersten Rindenzellen gleich, oder übertreffen dieselben sogar etwas an Grösse. Anders verhält es sich mit den Quertheilungen. Diese wiederholen sich in den Pericambiumzellen häufiger, als in den beiderseits benachbarten Rinden- und Cambiumzellen, daher sie sich auch durch ihre Kürze auf Längsschnitten sehr leicht erkennen lassen (Taf. XV, Fig. 3 und 7, p). So messen sie bei Polypodium dimorphum im ausgewachsenen Zustande 85—100 Mik., indess die benachbarten prosenchymatischen Rindenzellen eine Länge von 700 Mik. haben. Die Pericambiumzellen bleiben ferner selbst im Alter dünnwandig, und führen einen granulösen Inhalt, ähnlich dem, wie wir ihn häufig in den Siebröhren z. B von Cucurbita finden.

Bei allen untersuchten Farnwurzeln wurden ausschliesslich diarche Gefässcylinder gefunden. Die beiden Primordialstränge bestehen längere Zeit aus einem einzigen Gefäss; erst nach und nach schreitet die Verholzung nach innen fort, bis endlich auch die in der Mitte gelegenen weiten Gefässe in der Zahl von 1—3 davon ergriffen werden. Die Länge der letzteren ist oft sehr bedeutend, und sie gehen von ihrer grössten Weite ganz allmählich in dünne und spitze Enden über. Bei Blechnum occidentale erreichen sie durchschnittlich die Länge von 2, öfters selbst von 3 M. M.

3. Marsilia.

Die Entwicklung und das Wachsthum der Wurzeln von Marsilia wurde in letzter Zeit von Hanstein*) untersucht. Er erkannte die tetraëdrische Gestalt der Scheitelzelle wie auch die Folge der in ihr auftretenden Theilungen ganz so, wie es oben als allgemeiner Wachsthumtypus der Wurzeln mit dreiseitiger Scheitelzelle beschrieben wurde.

In Bezug auf die Entwicklung der Wurzelhaube gibt Hanstein an, dass sich die von der Scheitelzelle durch eine Querwand abgeschnittene Kappenmutterzelle (primäre Kappenzelle) durch kreuzweis gestellte Wände in vier theile und dass dann jede dieser Zellen durch eine der Peripherie gleichlaufende Wand in eine äussere und eine innere Zelle zerlegt werde. Der letztere Theilungsvorgang wurde von uns an den beiden untersuchten Arten nie beobachtet, sondern es zeigten in dieser Beziehung alle Wurzeln den oben erörterten allgemeinen Typus, der auch in den weiteren Theilungen zu Tage trat, wofür Taf. XVI Fig. 8 und 9 als Beispiele dienen mögen (die successiven Wände sind mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet). Eine Quertheilung der Kappe in zwei Schichten wurde nie beobachtet und es ist daher seitlich jedes Segment nur von einer einzigen Kappenschicht begrenzt.

---

*) Befruchtung und Entwickelung der Gattung Marsilia in Pringsheim's Jahrbüch. Band IV, 197.

Was die **Ausbildung des Wurzelkörpers** betrifft, so finden wir in Beziehung auf Entstehung der Segmente und Sextanten nichts von dem allgemeinen Typus abweichendes. Die Sextantenwände setzen sich sehr nahe am Grunde der Segmente an, wodurch der Unterschied zwischen grösseren und kleineren Sextanten fast ganz verschwindet (Taf. XVI, Fig. 5; h die Hauptwände, s die Sextantenwände.)

Die Epidermis und die äussere Rinde bleiben durchaus einschichtig und selbst bei dickeren Wurzeln zeigt letztere nur hie und da tangentiale Theilungen. Die Zellen der inneren Rinde dagegen erfahren reichliche tangentiale Theilungen, welche in centripetaler Folge entstehen. Zwischen je vier aneinanderstossenden Zellen der inneren Rinde treten Intercellulargänge auf, die äusserst regelmässig in radiale Reihen und concentrische Kreise geordnet sind. Die des äussersten Kreises (die nach aussen von der äusseren Rinde begrenzt sind) vergrössern sich sehr rasch und vereinigen sich mit denen des nächstfolgenden Kreises zu weiten, in radialer Richtung verlängerten Gängen. Die zwischen ihnen liegenden der äussersten Schicht der inneren Rinde angehörigen Zellen theilen sich nur 1—3 mal und vorherrschend in centrifugaler Folge durch tangentiale Wände. (Taf. XVI, Fig. 10; die grossen Luftgänge sind mit u bezeichnet; von den Zellen zwischen denselben ist eine noch ungetheilt, die andern sind in 2 und 3 Zellen getheilt.) Es werden somit zwischen je zwei benachbarten Luftgängen einschichtige Scheidewände gebildet, die auf dem Querschnitt der Wurzel als radiale Zellenreihen erscheinen. Betrachtet man diese Scheidewände zwischen den Luftgängen in etwas älteren Wurzeln vor der Fläche (d. h. im radialen Längsschnitt der Wurzel), so sieht man sie leiterförmig durchbrochen, indem ihre langgestreckten Zellen an zahlreichen Stellen sich getrennt und an den dazwischen befindlichen Stellen in radialer Richtung zu schmalen Fortsätzen sich ausgezogen haben. Die benachbarten Scheidewände sind öfters auch mit ihren innersten Zellen, welche auf gleiche Weise in tangentialer Richtung zu Fortsätzen ausgezogen sind, unter sich in Verbindung. Durch die leiterförmigen Durchbrechungen der Scheidewände stehen die grossen Luftgänge überall in Communication miteinander. Sie communiciren aber auch mit den kleinen inneren Gängen, so wie auch diese selbst sowohl in radialer als in tangentialer Richtung durch zahlreiche Anastomosen zusammenhängen.

Von den Zellen der innersten Rindenschichte sind die zwei vor den ersten Gefässen und diametral gegenüber liegenden auf Querschnitten durch ihre Grösse und weiters noch dadurch ausgezeichnet, dass unmittelbar über jeder derselben immer zwei radiale Reihen liegen, während über den übrigen Zellen dieser Schicht die dichotomische Spaltung der betreffenden Radialreihen erst in weiter nach aussen gelegenen Schichten eintritt (Taf. XVI, Fig. 12, a, a). Sie unterscheiden sich auch auf Längsschnitten durch ihre weit geringere Länge von allen übrigen Rindenzellen.

Das Pericambium ist überall einschichtig, und berührt unmittelbar die Gefässe. Bei allen Wurzeln beginnt die Gefässbildung an zwei diametral gegenüberliegenden Punkten. Den ersten Gefässen folgt jederseits rechts und links anstossend ein zweites und endlich ein drittes, so dass die ersten einer Gruppe in eine tangentiale Reihe geordnet sind. Die Mitte des Gefässcylinders nehmen 3—4 weite Gefässe ein. Ihre Verholzung geht erst im Alter der Wurzel vor sich (Taf. VI, Fig. 12 wo jederseits innerhalb a eine Querreihe von 3 dunkelwandigen Gefässen und dazwischen 4 weite noch zartwandige Gefässe sichtbar sind).

Die Verzweigungen der Wurzeln sind den Gefässsträngen entsprechend zweizeilig gestellt. Sie werden schon sehr früh angelegt, und stehen anfangs sehr dicht gedrängt. Taf. XVI. Fig. 5 zeigt einen rechtwinklig auf die Verzweigungsebene geführten Schnitt. Man sieht an ihm alle Entwicklungsstufen von der noch ungetheilten Anlage an bis zur Bildung des sechseckigen Cambiumcylinders. In Bezug auf die 4 ältesten Wurzelanlagen ist der Parallelismus der sich entsprechenden Haupt- und Sextantenwände, welche auf eine ganz bestimmte und überall gleiche Lage der Scheitelzelle hinweisen, besonders hervorzuheben. Taf. XVI, Fig. 7 stellt einen Längsschnitt durch eine Mutterwurzel dar, durch den auch die Anlage der Tochterwurzel im Längsschnitte getroffen wurde. Diese hat erst drei Segmente gebildet; man sieht drei derselben (I, II, IV), das Segment III ist abgekehrt. Die Wurzelhaube besteht nur aus einer Kappe (k). Das erste und älteste Segment (I) ist von der Spitze der Mutterwurzel abgekehrt. Nach der Bildung der drei ersten Segmente (I, II, III) wurde die erste Kappe abgeschnitten, worauf dann abermals eine Segmentzelle (IV) die der ersten parallel ist, gebildet wurde.

Die Wurzeln von Pilularia stimmen in den ersten Stadien ihrer Entwicklung ganz mit denen von Marsilia überein. Der Cambiumcylinder ist wie bei allen einfach gebauten Wurzeln, entsprechend dem Verlaufe der Sextanten- und Cambiumwände, im Querschnitte sechseckig. Nur in einem einzigen Falle wurde in dieser Beziehung eine Ausnahme beobachtet, indem der Cambiumcylinder bloss von 5 Rindenzellen umgeben war (Taf. XVI, Fig. 13) was wohl nur in der Weise zu erklären ist, dass hier in einem Segmente die Bildung der Sextantenwand unterblieb. In Fig. 13 B ist das muthmassliche Theilungsschema aufgestellt, wonach sich eines der Segmente sogleich durch die Cambiumwand (c^1) getheilt hat, worauf die innere Zelle (innerhalb c^1) noch einmal durch eine tangentiale Wand in zwei zerfallen ist.

II. Wurzeln und wurzelähnliche Organe der übrigen Gefässcryptogamen und einiger Phanerogamen.

Die bisher betrachteten Wurzeln der Gefässcryptogamen mit dreiseitiger Scheitelzelle bilden einen einheitlichen Typus, der sich ohne allzu grosse Mühe ziemlich genau verfolgen lässt. Alle andern Wurzeln bieten der Untersuchung viel grössere Schwierigkeiten dar. Diejenigen der übrigen Gefässcryptogamen, nämlich von Lycopodium, Selaginella und Isoëtes, stehen in einem charakteristischen Gegensatz zu den Wurzeln der Equisetaceen, Filices und Marsiliaceen. Die erstern sind meistens gabelig getheilt, die letztern monopodial verzweigt. Bei den erstern ist Alles, was auf das Scheitelwachsthum Bezug hat, unklar, die Form der Scheitelzelle, welche wahrscheinlich zwei- oder vierseitig ist, die Theilung derselben, welche sehr bald aufhört, die Bildung der Wurzelhaube, die Entwicklung der Segmente, die Entstehung der Verzweigungsanlagen. Dieser Gruppe von Gefässcryptogamen gehören auch die wurzelähnlichen, morphologisch von der Wurzel zu unterscheidenden Organe von Selaginella und Psilotum an. Eigenthümliche Erscheinungen treten bei den wenigen Phanerorgamen auf, die wir untersuchten, sie betreffen die erste Entstehung der Wurzelhaube und des Wurzelkörpers.

A. Wurzeln von Lycopodium (Taf. XVII).

Die Wurzeln dieser Pflanze entspringen an der Unterseite des kriechenden Stengels. Weder in Bezug auf den Ort ihres Auftretens, noch auf ihre gegenseitigen Abstände lässt sich irgend eine Regelmässigkeit erkennen. Die Stellen, an denen sie als warzenförmige Erhabenheiten an der Oberfläche des Stengels sichtbar werden, sind meist schon mehrere Centimeter von der Spitze entfernt. Wenn sie endlich hervortreten, wird das Rindengewebe des Stengels ringsum als Ringwall aufgeworfen.

Haben die Wurzeln eine durchschnittliche Länge von 3 oder 4 Centimenter erreicht und wahrscheinlich erst, wenn sie den Boden berühren, so gabeln sie sich. Die Theilungsebene steht immer senkrecht auf der Längsachse des Stengels. Ist einmal diese erste Verzweigung eingetreten, so folgen nun weitere Verästelungen sehr rasch aufeinander. Die beiden Aeste der ersten Gabelung sind immer gleich stark; die der folgenden Verzweigungen sind jedoch meist von ungleicher Stärke, in der Art, dass die beiden ersten Gabelzweige als Hauptachsen durch die ganzen Verzweigungssysteme erkennbar bleiben. Doch kommt es auch vor, dass in einem ganzen Verzweigungssysteme oder in beliebigen Theilen desselben der dichotomische Charakter mit gleich starken Gabelstrahlen ausgesprochen ist.

In Bezug auf die Stellungsverhältnisse ist vor allem hervorzuheben, dass sich in den meisten Fällen zwei aufeinander senkrechte Verzweigungsebenen unterscheiden lassen, welche bald regelmässig von Verzweigung zu Verzweigung alterniren, bald auch unregelmässig auf einander folgen, indem zwei oder mehrere successive Verzweigungen in der gleichen Ebene liegen. Beide Vorkommnisse werden sowohl bei den wiederholt gabeligen, als bei den monopodial-verzweigten Wurzeln beobachtet. — Was den verticalen Abstand der Seitenstrahlen bei den letzteren betrifft, so ist derselbe in den selteneren Fällen annähernd gleich, so dass die Seitenstrahlen einzeln stehen und Divergenzen von $^1/_4$ und $^1/_2$ zeigen. Häufiger sind je zwei Seitenstrahlen einander genähert, oder selbst vollkommen in gleicher Höhe und einander opponirt. Die dadurch entstehenden Paare alterniren meistens regelmässig miteinander, so dass die Seitenwurzeln vierzeilig sind. Doch können auch zwei oder mehrere Paare gleich orientirt sein und eine fiederartige Verzweigung darstellen (Taf. XVII, Fig. 1, 2; vgl. die Erklärung der Tafeln).

Es ist noch zu bemerken, dass die Divergenzen nicht immer genau $^1/_2$ und $^1/_4$ des Umfanges betragen. Namentlich kommt es vor, dass die zwei Seitenstrahlen, die ein Paar bilden, nicht vollkommen opponirt sind, und ebenso, dass die einzeln stehenden fiederartig gestellten Seitenwurzeln auf der einen Seite etwas mehr, auf der andern etwas weniger, als die Hälfte des Umfanges von einander abstehen. Besonders aber beobachtet man diese Abweichung, wenn von den 4 verticalen Zeilen der Divergenz $^1/_4$ eine ausfällt, was durch eine Spirale hervorgebracht wird, die zickzackförmig nach je zwei Schritten die Richtung wechselt. In diesem Falle sind die zwei opponirten Zeilen häufig etwas nach derjenigen Seite verschoben, wo die vierte Zeile mangelt, ihr Abstand beträgt hier 150—160°, während der Abstand von der dritten Zeile 100—105° ausmacht (Fig. 4). Auch können die Strahlen der beiden schief gegenüberstehenden Zeilen mehr oder weniger paarweise genähert sein.

Eine regelmässige Verzweigungsfolge mit constanten Divergenzen lässt sich in keiner Weise ableiten, man müsste denn ein Abortiren von gewissen Anlagen voraussetzen dürfen. Diese Voraussetzung könnte sich entweder an die Annahme einer durchgehends dichotomen, oder einer durchgehends monopodialen Verzweigung anschliessen. Im ersten Falle würde sich von den beiden Gabelästen meist der eine stärker ausbilden. Im zweiten Falle würde der Seitenstrahl zuweilen durch stärkeres Wachsthum dem Hauptstrahle gleich werden und mit ihm eine Pseudodichotomie darstellen. In beiden Fällen würde die Divergenz normal $^1/_4$ des Umfanges betragen, durch Unterdrückung einzelner Anlagen aber häufig zu $^1/_2$ werden.

Die nächste Frage, die sich darbietet, ist die, ob sich vielleicht die Stellung der Seitenstrahlen auf den Verlauf der Gefässstränge in der Mutterwurzel zurückführen lasse. Dies ist in keiner Weise der Fall. Abgesehen davon, dass die Zahl der Stränge auch in dünnen Wurzeln ziemlich hoch ist, wechselt sie in Folge öfterer Vereinigungen und Spaltungen in verschiedenen Höhen beträchtlich. Eine andere Schwierigkeit liegt darin, dass die Gefässstränge der Tochterwurzel längere Strecken weit im Gewebe der Mutterwurzel verlaufen, bevor sie sich mit den Gefässsträngen der letzteren vereinigen, es wird daher die an der Oberfläche ersichtliche Stellung möglicherweise nicht der ursprünglichen Anlage entsprechen.

Bei anderen Pflanzen, wo die Seitenwurzeln in einer bestimmten Beziehung zu den Gefässsträngen der Hauptwurzel stehen, lässt sich diese Erscheinung immer auf die erste Anlage zurückführen. Bei Lycopodium werden die Wurzelzweige schon an der Vegetationsspitze angelegt, wo die Differenzirung des Gewebes zu den Gefässbündeln noch nicht begonnen hat. Querschnitte, die durch die Spitze einer nicht zu dünnen Wurzel geführt werden, zeigen im Gewebe versteckt immer schon mehrere Wurzelgenerationen, indem die kaum erst gebildeten Anlagen der Wurzelzweige selbst schon sich wieder verzweigt haben. Dies kann sich sogar nochmals wiederholen, so dass wir also auf einem solchen Querschnitt in der That die Horizontalprojection eines ganzen Systemes von Verzweigungen vor uns haben. Diese Eigenthümlichkeit setzt uns aber auch in den Stand, die Verzweigungsrichtungen viel sicherer und genauer zu bestimmen, als dies bei einem schon entwickelten Verzweigungssysteme möglich ist. So sehen wir z. B. in Fig. 3 einen Hauptast (I) in seiner Vegetationsspitze quer durchschnitten. An ihm haben sich drei ungleich alte Wurzelanlagen ($_1$II, $_2$II, $_3$II) und zwar in drei verschiedenen Theilungsebenen gebildet, welche mit der in Fig. 4 dargestellten Stellungsweise Analogie haben. An der grössten Wurzelanlage II. Ordnung (,II) sind bereits zwei ungleich starke Anlagen III. Ordnung (,III, ,III) sichtbar. Sie liegen in einer Verzweigungsebene, die jene von I und ,II unter einem rechten Winkel schneidet. Die nächst jüngere Anlage II. Ordnung (,II) zeigt ebenfalls schon wieder zwei Anlagen (,III, ,III), die gleich stark erscheinen. Ihre Verzweigungsebene bildet mit der von I und ,II ebenfalls einen rechten Winkel. Denken wir uns nun diesen ganzen Complex von Anlagen auseinandergerückt, so erhalten wir ein Verzweigungssystem, wie es früher geschildert wurde. Dieses Auseinanderrücken findet nun auch in der That statt, und es ist eine Folge des ungemein starken intercalaren Wachsthumes, das unmittelbar unter der Spitze am stärksten ist, und gegen den Grund eines Wurzelstrahles hin schwächer wird.

Die aus dem Stengel unter rechten Winkeln hervorbrechenden Wurzeln sind, so lange sie nicht in die Erde eindringen und sich verzweigen, lebhaft grün gefärbt. Auch die Zellen der Wurzelhaube enthalten Chlorophyll. Letztere zieht sich über den Wurzelkörper ziemlich tief grundwärts, und geht endlich in der Weise verloren, dass die Zellwände, indem sie in Wasser sehr stark aufquellen, zu einem homogenen Schleime zusammenfliessen, der in seinem Innern nur mehr die Lumina der früheren Zellen, nicht aber die Begrenzungslinien der letzteren erkennen lässt (Fig. 7, w).

Die an der Vegetationsspitze gelegenen Zellen der Wurzelhaube, wie auch die des Wurzelkörpers, sind sehr flach gedrückt, daher auch auf Querschnitten, die durch diese Region geführt werden, die Anordnung der Zellen nicht deutlich wird. In dem ziemlich grosszelligen Meristem, welches grundwärts auf die Scheitelregion folgt, tritt eine lebhafte Zellentheilung auf. Auf Querschnitten erscheinen die Theilungswände in den äusseren Partieen fast ausschliesslich genau tangential und radial gestellt, während sie in den inneren Partieen ebenso häufig schiefe Richtungen zeigen. In letzteren geht auch die Theilung noch viel lebhafter als in den äusseren Partieen vor sich, und das Gewebe erscheint in Folge dessen kleinzelliger. Damit ist nun der erste Unterschied zwischen Rinde und Cambiumcylinder gegeben, wobei allerdings die Grenze zwischen beiden durchaus nicht deutlich zu erkennen ist. Im Verlaufe der Entwicklung hören nun in der Rinde die Theilungen von der Peripherie gegen das Centrum allmählich auf und gehen endlich nur mehr in ihren innersten Schichten vor sich.

Zu gleicher Zeit erscheinen im Umkreise des Cambiumcylinders mehrere (meist 7) hellere Partieen, die allmählich nach innen sich verlängern, und dort unter sich verschmelzen. Sie bestehen aus grösseren mit wasserhellem Inhalt erfüllten Zellen, von denen die an der Peripherie gelegenen sich nicht mehr theilen, während die weiter innen befindlichen auch in späteren Stadien noch öfters tangentiale Theilungswände erkennen lassen. Vor jeder dieser hellen Partieen nun beginnt die Verholzung der Gefässe, die zuerst in tangentialer Richtung fortschreitet und so eine Reihe von 8—12 neben einander liegenden Gefässen bildet, dann aber nach innen sich wendet, was eine Verdopplung oder Verdreifachung der transversalen Gefässreihe zur Folge hat. (Vergl. Fig. 13 bei g). Zu gleicher

Zeit mit dem Sichtbarwerden der ersten Gefässe treten auch abwechselnd mit den Stellen, an denen dieselben sich bilden, und etwas weiter nach dem Centrum gelegen, kleine Gruppen verdickter und heller gefärbter Zellen auf, die ohne allen Zweifel als Bastzellen zu bezeichnen sind. (Fig. 13 bei b).

Es hat sich somit ein Kreis von primordialen Vasalsträngen und etwas einwärts von demselben ein Kreis von primordialen Baststrängen gebildet. Von beiden schreitet die Verholzung der Zellen nach dem Centrum der Wurzel fort. Auf die primordialen Baststränge folgen nach innen Zellen von gleicher Grösse und Gestalt. Auf die primordialen Vasalstränge folgen zunächst kleinere Zellen, die zu Holzzellen sich verdicken; dann weite Zellen, die zu Treppengefässen sich ausbilden und die ebenfalls wieder mit Holzzellen abwechseln können. Der Gefässcylinder, der aus diesem Verholzungsprocesse entsteht, hat einen strahligen Bau wie im Stämmchen. Er besteht aus breiten Strahlen, die dem Holzkörper (Xylem) und aus schmäleren Strahlen, die dem Bastkörper (Phloëm) der übrigen Gefässstränge entsprechen. — Wenn dieser centripetale Verholzungsprocess schon ziemlich weit fortgeschritten ist, beginnt die Verholzung auch auf der Aussenseite der Bastbündel (Fig. 13, b), schreitet in den zwischen je zwei Vasalsträngen (g) gelegenen Zellenpartieen nach aussen fort, und ergreift auch eine oder zwei Reihen der an der Aussenseite der Vasalstränge gelegenen Zellen.

Zugleich mit der im Gefässcylinder beginnenden Verholzung verdicken sich auch die inneren Rindenzellen, mit Ausschluss der 2—3 innersten Schichten. Dieser Process schreitet dann nach aussen fort, tritt jedoch nicht in allen Partieen in gleicher Stärke auf, indem die inneren ihre Zellen viel stärker verdicken als die äusseren. Erstere unterscheiden sich schon früher durch ihre engeren, prosenchymatischen und viel längeren (bis 0,5 Mill.) Zellen von den letzteren, welche fast doppelt so weit sind und mit quer oder schief gestellten Wänden aneinander stossen. Doch ist die Abgrenzung dieser beiden Rindenpartieen durchaus nicht scharf, und es findet sowohl in Form und Weite der Zellen, als auch in Bezug auf die Stärke der Verdickung ein allmählicher Uebergang zwischen beiden statt. Die an der Grenze zwischen diesen beiden Rindenpartieen gelegenen Zellen zerreissen im Alter, und die äussere Rinde trennt sich als Hohlcylinder von der inneren. Aber auch diese trennt sich in ähnlicher Weise von dem centralen Gefässcylinder, indem die zwei oder drei innersten Rindenschichten, deren Zellen vom Verdickungsprozesse ausgeschlossen blieben, zerreissen. So sehen wir dann im Alter der Wurzel den Gefässcylinder von zwei in einander geschobenen Röhren umschlossen, von denen jedoch die äussere nach und nach zerreisst, und in grösseren oder kleineren Fetzen sich ablösst, während die innere fortwährend dem Gefässcylinder enge anliegt.

Es wurde schon oben erwähnt, dass die Wurzeln rechtwinklig zur Längsachse des Stengels aus demselben hervorbrechen. Ihre primordialen Vasalstränge, deren Zahl, wie oben angegeben, zwischen 6 — 12 und darüber schwankt, setzen sich an die des Stengels an. Fig. 10 stellt uns ein Schema des Strangverlaufes im Stengel zunächst einer sich abzweigenden Wurzel dar. Es wurde durch Vergleichung successiver Querschnitte erhalten, die durch 43 Internodien fortgesetzt wurden. Die Blattspurstränge der grundwärts aufeinanderfolgenden Blätter wurden mit Zahlen bezeichnet, ihre Ansatzstellen im Schema durch Punkte angegeben. Ueber der Wurzel hat der Gefässcylinder des Stengels in seinem Umfange 11 primordiale Vasalstränge, die mit den Buchstaben a–l bezeichnet sind. Unter der Wurzel sind deren 10, indem d und e sich mit einander vereinigt haben. Die Wurzel enthält an der Peripherie ihres Gefässcylinders 9 primordiale Vasalstränge; die Stellen, wo sich dieselben an diejenigen des Stengels ansetzen, sind durch die Buchstaben m–u angegeben. Es setzen sich also in diesem Falle die 9 Stränge der Wurzel an 4 bis 5 des Stengels an, also im Allgemeinen an jeden Primordialstrang des Stengels je zwei der Wurzel, einer scheitelwärts und einer grundwärts, an.

Der im vorhergehenden gegebenen Darstellung wurden ausschliesslich dicke, meist noch unverzweigte Wurzeln zu Grunde gelegt. Mit zunehmender Verzweigung wird auch der Bau der Aeste und Zweige immer einfacher, so dass bei den letzten Verzweigungen die äussere Rinde auf eine, die innere auf zwei bis drei Zellschichten beschränkt ist (Fig. 11). Ebenso einfach ist der Bau des Gefässcylinders, der nur einen einzigen seitlich gelegenen Vasalstrang besitzt. Die letzten Verzweigungen stellen fast ausnahmslos Gabelenden dar, indem der Strahl der nächst niederen Ordnung sich in zwei gleichstarke (vielleicht auch gleichwerthige*) Zweige fortsetzt. In diesen beiden Zweigen nun liegen die excentrischen Vasalstränge einander zugekehrt. Meist ist nur eine einzige Querreihe von Gefässen vorhanden, die sich nicht selten über die halbe, oft auch über zwei Drittel der Peripherie erstreckt.

Es bliebe uns noch die Frage zu beantworten, wie das Wachsthum der Wurzel in den ersten Stadien vor sich gehe, ob auch hier eine einzige Scheitelzelle vorhanden sei, und wenn diess der Fall, in welcher Weise die Theilungen stattfinden. Die Beobachtung der Scheitelregion hat jedoch die grössten Schwierigkeiten. Es wurde schon oben erwähnt, dass daselbst die Wurzelanlagen verschiedener Generationen so rasch nach einander gebildet werden, dass wir auf einem Querschnitte immer mehrere derselben wahrnehmen. Diese Wurzelanlagen gehen von der Mutterwurzel unter spitzen Winkeln ab, und werden daher von dem Querschnitte schief getroffen, so dass man weder über die Richtung, noch über die Höhe des Schnittes genau ins Klare kommt. Je dickere Wurzeln wir zur Untersuchung verwenden, um so complicirter werden diese Verhältnisse, und wir müssen uns daher immer an die dünnsten Wurzeln halten. Unter diesen finden wir nun allerdings Enden, an denen keine weitere Verzweigung zu erkennen ist, die also einen einzigen Scheitel zeigen. In solchen Fällen beweist jedoch die Untersuchung, dass wir nicht mehr ein in Theilung begriffenes Gewebe, sondern ein Dauergewebe vor uns haben. Es ist dies eine Folge der schon oben erwähnten Thatsache, dass das Längenwachsthum der Wurzeln fast ausschliesslich durch intercalare Zelltheilung vor sich geht. Die Scheitelzelle theilt sich verhältnissmässig selten. Dagegen muss eine sehr lebhafte Zellenvermehrung in den Segmenten stattfinden. Man bleibt daher nicht blos über die Frage, wie die Scheitelzelle sich theile, im Ungewissen; sondern selbst darüber, ob wirklich eine einzige Scheitelzelle vorhanden sei, geben die meisten Längs- und Querschnitte keinen genügenden Aufschluss. Denn die sichere Deutung einer Zelle als Scheitelzelle ist nur dort möglich, wo die Segmente in ihrer Form und in ihrem Aneinanderschliessen noch erkannt werden können, wo man also eine Gruppirung des Gewebes um eine dieser Anordnung entsprechend gestaltete Zelle deutlich wahrnimmt. Man gelangt nun allerdings nach einer längeren Untersuchungsreihe zu der Ueberzeugung, dass auch die Wurzeln der Lycopodien eine einzige Scheitelzelle besitzen und dass sich dieselbe durch schiefe Wände theilt Denn auf einzelnen Längsschnitten durch unverzweigte Wurzelenden sieht man deutlich, beiderseits der Achse, schief gestellte Wände, welche am Scheitel zusammenschliessen, und einen dreieckigen Raum, die Scheitelzelle umgeben.

---

*) Dies wäre der Fall, wenn sich die Scheitelzelle, statt durch schiefe Wände, durch eine verticale Wand in zwei neue Scheitelzellen spalten würde, wie es Hofmeister (Vergl. Unt. pg. 117) angibt. Doch scheint uns eine solche Halbirung schwer mit den Theilungsprocessen in der Scheitelzelle der Gefässcryptogamen vereinbar zu sein und überdem halten wir es für nahezu unmöglich, sie durch directe Beobachtung nachzuweisen. Wenn, was dagegen nicht unmöglich ist, auf irgend eine andere Weise Dichotomie eintreten sollte, so wäre dies gewiss nicht die einzige Verzweigungsweise. Dagegen spricht einmal die ungleiche Mächtigkeit der Aeste und Zweige, anderseits aber auch Fälle, wie der in Fig. 2 abgebildete, in welchem die beiden Seitenstrahlen ($_1$II, $_1$II) genau opponirt sind.

Da die Theilung der Scheitelzelle sehr früh aufhört, so muss man, um vollkommene Sicherheit über die Theilungsvorgänge in derselben zu erlangen, die Untersuchungen an ganz jungen, eben erst gebildeten Wurzelanlagen anstellen, an solchen nämlich, die noch im Gewebe der Mutterwurzel versteckt sind, oder soeben aus demselben hervorbrachen. Aber auch dann wird uns ein Längsschnitt erst in dem Falle Aufschluss geben, wenn er parallel der letzten Gabeltheilung geführt ist. Läuft er nicht parallel der Theilungsebene, so haben die Gabelzweige eine zur Ebene des Gesichtsfeldes schiefe Lage, und bringt er nicht die Zweige der letzten Ordnung zur Ansicht, so kann man natürlich auch keine Scheitelzelle sehen.

Ob diese Bedingungen erfüllt werden, ist allerdings zum grossen Theile Sache des Zufalles; doch können wir aus der ziemlich regelmässigen Aufeinanderfolge der Lage der Verzweigungsebenen einige Anhaltspunkte gewinnen. Wenn wir durch den letzten Zweig, unter der Voraussetzung, dass er sich noch einmal theile, rechtwinkelig auf die Theilungsebene, in der er sich gebildet hat, einen Schnitt führen, so ist es möglich, Anlagen der Gabelzweige der nächst höheren Ordnung zur Ansicht zu bringen. In solchen Fällen erkennen wir nun deutlich eine Scheitelzelle, die keilförmig dem Gewebe des Wurzelkörpers eingesenkt und von einer Wurzelhaube bedeckt ist (Fig. 12). Nach der Lage der Wurzelhaubenschichten und deren Ansatz an den Wurzelkörper zu schliessen, ist es wohl zweifellos, dass auch hier von der Scheitelzelle durch Querwände eine primäre Kappenzelle abgeschnitten wird. Aus der Form der Scheitelzelle und aus der Lage der ihr beiderseits anliegenden Segmente erkennen wir ferner, dass letztere durch schiefe Theilungen gebildet werden.

Um jedoch die Anzahl der Richtungen zu bestimmen, nach welchen diese schiefen Theilungen eintreten, müssen wir entweder einen auf diesen senkrechten Längsschnitt oder einen Querschnitt untersuchen. Die richtige Führung eines solchen Längsschnittes ist rein Sache des Zufalles und entzieht sich ganz der Bestimmung. Nicht minder schwierig sind gute Querschnitte zu erhalten, da auch sie bei der spreitzenden Lage der Wurzelanlagen schiefe Ansichten geben. Wenn wir jedoch durch die letzten unverzweigten Enden, an welchen wir uns über Richtung und Höhe des Schnittes orientiren können, Querschnitte machen, so stehen die Zellen am Scheitel immer in Reihen, die sich rechtwinklig kreuzen und im Allgemeinen eine rechteckige Form haben, wie es die in Fig. 5 und 6 dargestellten Ansichten zeigen (die vermuthliche Scheitelzelle ist mit v bezeichnet).

Eine ähnliche Anordnung finden wir auch am Scheitel des Stengels, und es lässt sich diese Erscheinung wohl kaum anders deuten, als dass in beiden Organen die schiefen Theilungen der Scheitelzelle alternirend nach zwei oder nach vier Richtungen stattfinden. Wenigstens scheint eine Divergenz der Theilungswände von $^1/_3$, $^2/_5$ etc. entschieden ausgeschlossen zu sein. Bei Erwägung aller während einer längeren Untersuchung beobachteten Thatsachen ist es uns wahrscheinlicher, dass die schiefen Wände der Scheitelzelle nach 4 Richtungen abwechseln. Dafür spricht namentlich auch der Umstand, dass die Verzweigungen der Wurzeln nach 4 Seiten gestellt sind. Diese Verzweigungen werden, wie schon erwähnt wurde, sehr frühe und zwar zu einer Zeit angelegt, wo von einer Differenzirung des Gewebes in Rinde und Cambiumcylinder noch nichts wahrzunehmen ist. Wir müssen theils nach den beobachteten Thatsachen, wozu namentlich auch die gedrängte Stellung mehrfacher Generationen von Anlagen gehört, theils wegen der regelmässigen Anordnung der Wurzelverzweigungen annehmen, dass ihre Anlagen schon in der Scheitelregion, und zwar entweder in der Scheitelzelle selbst, oder in den Segmentzellen gebildet werden. Geschieht, wie es am wahrsheinlichsten ist, die Bildung in den Segmenten, so dürften diese in 4 senkrechten Reihen stehen. Findet sie aber in der Scheitelzelle statt, so muss dieselbe entweder eine 4seitige Form haben und nach 4 Seiten sich theilen, oder sie ist zweischneidig, und dann muss sie ihre Theilungsrichtung wechseln, wofür aber keine Analogieen gegeben sind.

Die Wahrscheinlichkeit spricht also dafür, dass die Scheitelzelle der Lycopodienwurzeln die Form einer 4seitigen Pyramide habe, und dass sie sich abwechselnd durch Wände, die mit ihren 4 Seiten parallel sind, theile. Diess kann rücksichtlich der Aufeinanderfolge der Wände in doppelter Weise stattfinden. Entweder bilden dieselben eine ununterbrochene Spirale mit der Divergenz von 90°, oder es liegen je zwei Wände gegenüber, und kreuzen sich mit dem folgenden Paare. Wir haben darüber keine bestimmte Vermuthung.

Es bleibt somit auch die früher berührte Frage, ob die Verzweigung ursprünglich dichotom oder monopodial sei, noch unerledigt. Eine wahre Dichotomie wäre nämlich sowohl möglich, wenn die Anlagen der Verzweigungen in den Scheitelzellen, als wenn sie in den gegenüberliegenden Rändern eines halb umfassenden Segmentes (bei zweizeiliger Anordnung der Segmente) gebildet würden; und nicht weit von der wahren Dichotomie würde die Verzweigung sich entfernen, wenn die Anlagen in den paarweise opponirten Segmenten der vierzeiligen Anordnung entstünden. Die Entwicklungsgeschichte gibt über diesen Punkt durchaus keinen Aufschluss.

Eigenthümlich ist die Bildung der Wurzelhaare, indem nämlich nicht die ganzen Epidermiszellen auswachsen, sondern nur Theile derselben, die früher durch schiefe Wände abgeschnitten werden. Die Epidermis, die sich bis an die Scheitelzelle verfolgen lässt, besteht anfangs aus flachen radial verlängerten Zellen (Fig. 12, o). Noch bevor sie unter der Wurzelhaube hervortritt, sehen wir in vielen ihrer Zellen schiefverlaufende Theilungswände auftreten, die von deren grundsichtigen Hälften ein Stück abschneiden (Fig. 8, p). Die so gebildete keilförmige Zelle theilt sich nun 1 — 3 mal durch eine auf die schiefe Wand rechtwinklige in 2 — 4 neben einanderliegende Zellen (Fig. 9, p), deren jede zu einem Haare auswächst, während zugleich der übrige Theil der Epidermiszelle rasch sich in die Länge streckt. Diess erklärt uns auch die Erscheinung, dass die Haare in Gruppen beisammen stehen. Oefters findet man auch einzeln stehende Haare. In diesem Falle schneidet die erste in der Epidermiszelle auftretende schiefe Wand nicht eine Kante, sondern bloss eine Ecke derselben ab.

B. Wurzeln und Wurzelträger von Selaginella. (Taf. XVIII.)

Die an den Gabeltheilungen des Stengels vieler Arten von Selaginella befestigten Organe, aus denen, wenn sie den Boden erreicht haben, mehrere Wurzeln hervorsprossen, wurden von jeher für Wurzeln gehalten. Wenn diess auch, wie wir später sehen werden, für die einen Arten richtig ist, so fehlen doch bei andern Species diesen Organen diejenigen Merkmale, welche eine Wurzel charakterisiren. Namentlich ist es der Mangel einer Wurzelhaube, welcher sie deutlich als Stengeltheile bezeichnet. Wir wollen sie Wurzelträger nennen, da aus ihnen die wahren Wurzeln hervorwachsen.

Die Stellung der Wurzelträger ist genau bestimmt. Bei S. Kraussiana (Kunze) A. Br. (S. hortensis Mett.) entspringen sie auf der Oberseite des Stengels ziemlich genau am Grunde je eines Astes (des schwächern Gabelzweiges), gehen dann bogenförmig um den Stengel herum und wachsen senkrecht nach unten. Da die Aeste alternirend rechts und links stehen, so verlaufen auch die Wurzelträger abwechselnd an der rechten und linken Seite des Stengels. Sie sind an allen Gabelungen vorhanden und lassen sich auch an den jüngsten mit freiem Auge kaum wahrnehmbaren Verzweigungen deutlich nachweisen.

Ausnahmsweise treten bei S. Kraussiana an einer Verzweigung des Stengels, statt eines zwei Wurzelträger auf. Beide entspringen neben einander an der Oberseite des Stengels, und zwar der normale in der eben angegebenen Weise; der accessorische verlässt weiter entfernt vom Aste den Stengel und biegt sich auf der andern Seite um den letztern herum.

Obwohl es uns nicht gelang, die Anlage und die ersten Entwicklungsstadien dieser Organe zu verfolgen, so ist es doch unzweifelhaft, dass sie unmittelbar am Scheitel des Stengels und wahrscheinlich zu gleicher Zeit mit den betreffenden Verzweigungen angelegt werden. In den jüngsten Stadien nämlich, welche es gelang deutlich zu machen, und in welchen die Wurzelträger kaum über die Oberfläche des Stengels hervorgetreten waren, zeigten ihre Gefässbündel gerade den gleichen Entwicklungszustand, wie die auf gleicher Höhe im Stengel verlaufenden. Ebenso ging auch das Gewebe des Stengels allmählich und ohne irgend eine Begrenzung zu zeigen, in das Gewebe des Wurzelträgers über, in ähnlicher Weise, wie das Gewebe des Stengels in das des Blattes übergeht. — Auf Querschnitten durch die Stengelenden, die also die jungen Wurzelträger im Längsschnitt treffen, sieht man die erwähnten Verhältnisse vollkommen klar. Man erkennt zugleich auch an der Spitze dieser Organe die dreiseitige Scheitelzelle und die leiterförmig in einander greifenden Segmente (Tab. XVIII, Fig. 2); von einer die Scheitelregion überdeckenden Wurzelhaube ist keine Spur vorhanden.

Ein Längsschnitt durch den Wurzelträger, der durch einen Längsschnitt des Stengels erhalten wird, zeigt uns am Scheitel desselben bogenförmig verlaufende Linien, so wie wir sie bei zweischneidigen Scheitelzellen, wenn die Segmente von der breiten Seite gesehen werden, wahrnehmen. Obwohl es nicht gelang, die Form der Scheitelzelle auch auf Querschnitten des Wurzelträgers (auf Tangentialschnitten des Stengels) zu erkennen, so ist doch nach der Vergleichung der beiden Längsschnitte kaum zu bezweifeln, dass wir es hier, in Uebereinstimmung mit dem Stengel, mit einer zweischneidigen Scheitelzelle zu thun haben, deren Seitenflächen in dem horizontal austretenden Wurzelträger mit der Längsachse des Stengels parallel sind. Die in der Scheitelzelle auftretenden Theilungswände sind abwechselnd den beiden Seitenflächen derselben parallel, und dem entsprechend liegen auch die Segmente mit ihren Hauptwänden in der Richtung der Längsachse des Stengels.

Die Theilung der Scheitelzelle hört jedoch bald auf, wogegen in den Segmenten fortwährend eine rasche Zellenbildung vor sich geht. Als Folge dieser lebhaften Zellvermehrung in den Segmenten erhalten wir im optischen Längsschnitt eine fächerförmige Anordnung der Zellreihen, wobei weder die Scheitelzelle, noch die Begrenzungslinien der einzelnen Segmente mehr erkannt werden können.

Bis zu diesem Stadium der Entwicklung ist der Wurzelträger noch immer kegelförmig zugespitzt. Nur ist er in seiner ganzen Länge seitlich etwas zusammengedrückt und zwar so, dass der Querschnitt eine Ellipse darstellt, deren längere Achse der Längsachse des Stengels parallel ist. Er ist in diesem Stadium kaum 1 Mill. lang; seine Spitze ist jedoch schon nahezu vertical nach abwärts gerichtet. Durch die lebhafte Theilung in den die Scheitelfläche einnehmenden peripherischen Zellen wird das Ende bald kopfförmig aufgetrieben (Fig. 1; 8 A). Um diese Zeit sehen wir auch im Innern der Basis dieses kopfförmigen Endes an zwei oder mehreren Puncten einen lebhaften Zellenbildungsprozess beginnen, und man unterscheidet an Längs- und Querschnitten ebenso viele Wurzelanlagen, als welche sie sich durch die bald deutlich zu unterscheidende Wurzelhaube erkennen lassen. Es ist wahrscheinlich dass in den meisten Fällen zwei davon der ersten Generation angehören und dass die übrigen aus diesen beiden in erster oder zweiter Generation abstammen, so wie wir es oben für Lycopodium erörtert haben.

Der früher erwähnte Theilungsprozess in den Zellen des kopfförmig angeschwollenen Endes des Wurzelträgers hört nun nach und nach auf, die Zellen verdicken ihre Wandungen und erscheinen mit wasserhellem Inhalte erfüllt. Um so lebhafter geht dafür die Zellenvermehrung in dem übrigen Wurzelträger vor sich. In Folge dieses ungemein starken intercalaren Wachsthumes erreicht derselbe nun rasch eine bedeutende (bis 6 Centim.) Länge. Die Streckung der Zellen ist dabei eine sehr beträchtliche. So mass z. B. eine Epidermiszelle an dem Grunde eines 45 Mill. langen Wurzelträgers im Durchschnitt 170 Mik, während ihre Länge am Grunde eines einen halben Mill. langen nur 19 Mik. betrug.

Erst wenn die Spitze des Wurzelträgers die Erde berührt, entwickeln sich die Wurzelanlagen weiter. In den Zellen des kopfförmigen Endes geht ein Desorganisationsprocess vor sich, in Folge dessen sie endlich zu einem homogenen durchsichtigen Schleime zusammenfliessen, der gleichmässig die Wurzelanlagen umhüllt, bei deren Weiterentwicklung aber allmählich verschwindet.

An dem Wurzelträger kann man ganz deutlich eine Rinde und den centralen Gefässcylinder unterscheiden. Die erstere besteht aus einem weder radial noch concentrisch geordneten Gewebe, dessen Zellen mit Ausnahme der innersten an den Gefässcylinder anstossenden Schicht ihre Wandungen stark verdicken. (Fig. 6.) Im Gefässcylinder treten die ersten und engsten Gefässe central auf. Auf diese folgen dann ringsum nach aussen sehr weite, radial verlängerte Treppengefässe, die ihrerseits von einem kleinzelligen, aus 3—5 Zellschichten gebildeten Gewebe, das auch zugleich den Gefässcylinder abgrenzt, umschlossen werden. (Fig. 6.)

Der Gefässcylinder des Wurzelträgers setzt sich an denjenigen Gefässstrang des Stengels an, welcher auf der Seite des Astes sich befindet, und zwar dicht unter oder neben dem Querjoche, welches an der Gabelung diesen Strang mit dem andern verbindet. Von hier geht er nach aussen, durchdringt dabei in schwachem Bogen das Rindengewebe der obern Seite und setzt dann diesen gekrümmten Verlauf in dem Wurzelträger selbst fort.

Die streng centrifugale Entwicklungsgeschichte des Gefässcylinders im Wurzelträger von S. Kraussiana ist eine der merkwürdigsten Thatsachen, indem sie eine vollkommene Anomalie darstellt. Bei allen Selaginellen und Lycopodien sowie bei Psilotum beginnt sowohl in den Wurzeln als in den Stengeltheilen die Gefässbildung an der Peripherie des Cambiumcylinders und schreitet von hier nach dem Mittelpunkte hin fort. Bei S. Kraussiana insbesondere, deren Stengel zwei getrennte Gefässstränge (statt eines ungetheilten Gefässcylinders) besitzt, befindet sich in jedem derselben der aus engen Spiralgefässen bestehende Primordialstrang an der dem Stengelcentrum abgekehrten Seite, was der peripherischen Stellung im Gefässcylinder der übrigen Arten entspricht.

Die Wurzelträger von S. Kraussiana unterscheiden sich also in der Richtung, welche die Gefässbildung auf dem Querschnitte einschlägt, von den Wurzeln aller Pflanzen ohne Ausnahme. Sie stehen in dieser Beziehung auch im Gegensatz zu den Stengelorganen der verwandten Gewächse, stimmen aber mit den Stengeln einiger Cryptogamen und aller Phanerogamen überein.

Auch bei S. Martensii Spr. ist ein Wurzelträger vorhanden. Er tritt hier auf der Unterseite unmittelbar am Gabelungswinkel des Stämmchens an die Oberfläche, und geht also, ohne sich weiter zu krümmen, vertical nach abwärts. An sehr vielen Gabelungsstellen sind zwei Wurzelträger vorhanden, von denen der eine die eben beschriebene Lage und Richtung einhält, während der andere auf der Oberseite nur etwas entfernter vom Gabelungswinkel entspringt, sich im Bogen um den Stengel herumkrümmt, und dann vertical nach abwärts wendet. Aber auch überall dort, wo nur der untere Wurzelträger ausgebildet ist, sehen wir den oberen, wenigstens als kleinen Höcker, an der soeben bezeichneten Stelle vorhanden. Ein Längsschnitt des Stämmchens, der senkrecht auf seine Verzweigungsebene geführt wird, durchschneidet also beide Wurzelträger (Fig. 10, E und F) und zeigt uns an jedem derselben den Verlauf des centralen Gefässcylinders (e und f). Wir beobachten, dass sich beide Gefässcylinder bogenförmig nach innen krümmen und in der Mitte des Stämmchens vereinigen, dann parallel seiner Längsachse bis zum Gabelungswinkel des sich spaltenden Gefässcylinders verlaufen, und an beide Aeste desselben anschliessen. Dabei setzt sich die, den Gefässcylinder des Stämmchens umgebende Luftlücke auch in den Wurzelträger hinein fort, (was ebenfalls bei S. Kraussiana der Fall ist) indem sie seinen Gefässcylinder bis zur Spaltungsstelle, öfters sogar noch die beiden Aeste desselben begleitet, doch nie die Oberfläche des Stämmchens erreicht.

Dieses anatomische Verhalten gestattet eine doppelte Erklärung. Die beiden äusserlich vollkommen getrennten Wurzelträger entstehen entweder getrennt am Stämmchen und es vereinigen sich bloss ihre Gefässcylinder am Grunde. Oder die beiden Wurzelträger sind, entsprechend dem Verhalten ihrer Gefässcylinder, als Verzweigungen eines ursprünglich einfachen Organes zu betrachten. Letzteres ist uns unwahrscheinlich, da, wie wir später sehen werden, die Lage der primordialen Vasalstränge in den beiden Wurzelträgern nicht die nämliche ist wie in den beiden Aesten einer Gabelverzweigung. Bei S. Martensii gabelt sich nämlich jeder Wurzelträger, ehe er den Boden erreicht, in der Regel ein oder mehrmals, wobei jede folgende Gabelungsebene die vorausgehende rechtwinklig schneidet und die Schenkel der ersten Gabelung rechts und links liegen.

Ueber die ganze Oberfläche des Wurzelträgers sind zahlreiche kegelförmige Höcker zerstreut, deren jeder sich als einen Complex langgestreckter Zellen darstellt. Sie entstehen aus einer Gruppe von Epidermiszellen, die sich mehrere Male durch tangentiale Wände theilen, worauf sich dann die Zellen bedeutend strecken (Fig. 5).

Die Entwicklung des Wurzelträgers geht auf die oben für S. Kraussiana angegebene Weise vor sich. Doch weicht der Bau insofern wesentlich ab, als die engen Primordialgefässe nicht im Centrum, sondern an der Peripherie liegen und da selbst einen einzigen Strang bilden, welcher in dem primären Strahl auf der grundsichtigen Seite sich befindet; d. h. auf derjenigen Seite, die der Basis des Stengels zugekehrt ist. Führt man einen Querschnitt durch die Gabelung des Stengels, bevor die Gefässcylinder der beiden Wurzelträger aus dem Rindengewebe hervorgetreten sind, so sieht man hier die Primordialstränge auf der äussern Seite (einander abgekehrt).

In den Gabelästen des Wurzelträgers liegen die Primordialstränge auf der innern Seite, sind also einander zugekehrt. Da wo sich die beiden Gefässcylinder vereinigen, machen ihre Primordialstränge einen Umlauf von 90°, um sich zu dem Primordialstrang des Mutterstrahls zu vereinigen. Fig. 3 zeigt einen Querschnitt dicht über der Vereinigungsstelle; h bezeichnet die weiten porösen, g die engen Spiralgefässe. Die letztern haben die zugekehrte Lage verlassen und sind seitlich gewandert.

Die Vereinigung der Gefässcylinder der beiden Gabeläste findet nicht unmittelbar an der Verzweigungsstelle, sondern mehr oder weniger grundwärts von derselben im Mutterstrahl statt, so dass also der Endtheil des letztern von zwei Gefässcylindern durchzogen wird. In dem primären Strahl kann die ganze scheitelsichtige Hälfte, in den secundären und folgenden Strahlen selbst die ganze Länge, zwei getrennte Gefässcylinder enthalten. Da die Primordialstränge in denselben einander zugekehrt sind, so zeigt das ganze Verhalten einige Analogie mit S. Kraussiana, wo in dem ungetheilten Gefässcylinder die primordialen Gefässe central gestellt sind.

Wie bereits erwähnt worden, werden die Wurzeln in dem verdickten Ende des Wurzelträgers schon sehr früh angelegt, entwickeln sich jedoch erst, wenn der letztere in die Erde gelangt. Untersucht man um diese Zeit Querschnitte, die durch die Spitze des Wurzelträgers geführt sind, so findet man meist schon mehrere Wurzelanlagen, deren gegenseitige Lage auf ihre Entstehung schliessen lässt. So stellt Fig. 7 den Querschnitt durch ein kopfförmiges Ende eines 12 Mill. langen Wurzelträgers von S. Kraussiana dar. Der biskuitförmige Querschnitt lässt auf die ursprüngliche Anlage von nur zwei Wurzeln schliessen. Die eine davon hat sich in zwei getheilt, während die andere Hälfte drei Anlagen zeigt, die sämmtlich derselben Generation anzugehören scheinen. Auf dem näher dem Grunde gelegenen Querschnitte jedoch verschwindet eine derselben, und es bleiben nur die beiden übrig, die in ihrer Lage mit denen in der anderen Hälfte übereinstimmen. Ebenso kommt auch häufig der Fall vor, dass der ausgebildete Wurzelträger auf derselben Höhe drei gleich starke Wurzeln trägt. Wenn man jedoch die grundwärts aufeinanderfolgenden Querschnitte untersucht, so sieht man dass einer der 3 den Wurzeln entsprechenden Gefässstränge in einen anderen übergeht, so dass schliesslich immer nur zwei Gefässstränge übrig bleiben.

Die Verzweigungen der Wurzeln höherer Ordnungen stellen immer Gabeltheilungen dar. Je zwei auf einander folgende Theilungsebenen kreuzen sich unter rechten Winkeln. Die frühe Anlage, wie auch das ungemein starke intercalare Wachsthum haben die Wurzeln von Selaginella mit denen von Lycopodium gemein. So wie dort, ist auch hier die Darstellung der Scheitelzelle äusserst schwierig, eben so sehr wegen der ungemein rasch nach einander eintretenden Verzweigungen, in Folge deren man sich sehr schwer über die

Richtung des zu führenden Schnittes zu orientiren vermag, als auch wegen der Undurchsichtigkeit des Zellgewebes. Anderseits sind auch die jugendlichen Membranen sehr zart und lassen sich in dem dunklen Gewebe fast kaum wahrnehmen. Nichts desto weniger erkennt man öfters an gelungenen Längsschnitten ganz deutlich die tief in das Gewebe des Wurzelkörpers hineinreichende keilförmige Scheitelzelle. Ihre (am Längsschnitte) dreiseitige Form, wie auch die Lage der angrenzenden Segmente machen es zweifellos, dass die Letzteren durch schiefe (gegen die Längsachse der Wurzel geneigte) Wände abgeschnitten werden, ebenso ist auch die Bildung der primären Kappenzellen durch Querwände unzweifelhaft. Nach wie vielen Richtungen jedoch die schiefen Wände geneigt sind, konnte durch direkte Beobachtung auf Querschnitten nicht ermittelt werden. Der Grund, warum hier, wie bei Lycopodium, die Scheitelzelle auf Querschnitten nicht unterschieden werden kann, dürfte vorzüglich in dem raschen Wachsthume der Segmente, zugleich aber auch in der zugespitzten Form des Vegetationskegels gelegen sein, da in Folge des letzteren Umstandes die Ränder der Scheitelzelle nicht zugleich mit den Begrenzungslinien der Segmente gesehen werden können. Nichts desto weniger kann man mit Grund vermuthen, dass die Scheitelzelle, wie diess auch im Stengel der Fall ist, zweischneidig sei. Es spricht dafür vor allen die constante Art der Verzweigung, welche unter der gewiss gerechtfertigten Annahme, dass die Wurzeln schon in den der Scheitelzelle benachbarten Segmenten angelegt werden, nur durch eine zwei- oder vierseitige Scheitelzelle erklärt werden kann. Für das Vorhandensein einer vierseitigen Scheitelzelle spricht aber die Gruppirung der Zellen in der Scheitelregion durchaus nicht. Nicht minder lässt die zweischneidige Form der Scheitelzelle im Stengel für die Wurzeln eine ähnliche Theilungsweise vermuthen.

Was die Weiterentwicklung betrifft, zeigen die Wurzeln wenig bemerkenswerthes. Die Wurzelhaube besteht immer nur aus sehr wenigen Kappen, deren Abstossung in der Weise, wie bei Lycopodium, vor sich geht. Die Rinde zeigt schon in jungen Stadien ein ungeordnetes Gewebe, und nur in den innersten Rindenschichten sieht man in Folge der vorherrschenden tangentialen Theilungen einigermassen eine radiale Anordnung. Der Gefässcylinder ist immer ungleichseitig ausgebildet. Die engen und ersten Gefässe bilden sich an einer Stelle der Peripherie und zwar bis zu 6 in einer tangentialen Reihe neben einander. Dann schreitet die Verdickung nach innen und ergreift die unmittelbar anliegenden weiten Gefässe, die bis in, oder auch etwas über die Mitte des Cambiumcylinders reichen, dessen übriger Theil von sehr engen, im Alter sich verdickenden Zellen ausgefüllt ist. Es zeigt uns somit der Cambiumcylinder immer einen excentrischen primordialen Vasalstrang.

Dieser Primordialstrang liegt in den beiden Wurzeln, welche aus dem Wurzelträger entspringen, auf der innern (zugekehrten) Seite, und die gleiche Lage zeigt er auch in den Gabelzweigen der Wurzeln. Bei Selaginella Kraussiana vereinigen sich die Gefässstränge der beiden Wurzeln zum Gefässcylinder des Wurzelträgers, ohne dabei eine Drehung zu erfahren, indem die einander zugekehrten Bündel von kleinen Gefässen der Wurzeln die centrale Partie im Wurzelträger zusammensetzen. Fig. 4 auf Taf. XVIII. zeigt uns einen Querschnitt des Wurzelträgers unmittelbar hinter der Gabelung, wo die beiden Stränge (g sind die kleinen, h die weiten Gefässe derselben) noch getrennt sind. Bei S. Martensii dagegen machen die Primordialstränge der beiden Wurzeln einen Umlauf von 90°, um sich zum seitlichen Primordialstrang des Wurzelträgers zu verbinden, und die gleiche Drehung zeigen auch die Stränge der Gabelzweige aller Wurzeln, wo sie in den Mutterstrahl eintreten.

Nicht bei allen Arten von Selaginella ist ein Wurzelträger vorhanden. So entspringen bei S. cuspidata Link, und S. laevigata Spr. an den zunächst dem Boden befindlichen Gabelungsstellen direct die Wurzeln, als welche sie sich leicht durch die auf den ersten Blick zu unterscheidende Wurzelhaube erkennen lassen.

Der Gefässstrang der Wurzel entspringt an der Theilungsstelle des in die beiden Gabelzweige des Stämmchens übertretenden Gefässcylinders und tritt in ähnlicher Weise nach aussen, wie dies oben für die unterseitigen Wurzelträger von S. Martensii beschrieben wurde (Vergl. Fig. 10, 11, d). In vielen Fällen scheint es, als ob das Auftreten der Wurzeln nicht an die Gabelungsstellen des Stämmchens gebunden sei. Bei genauer Untersuchung findet man jedoch an der Ursprungsstelle jeder Wurzel den schwächeren Gabelzweig des Stämmchens wenigstens als Knospe vorhanden, die sich dann nach kürzerer oder längerer Zeit unter günstigen Verhältnissen weiter entwickeln kann, und auch ihrerseits sogleich wieder solche Anlagen von Gabelzweigen zeigt.

Zum Unterschiede von den Wurzelträgern werden die Wurzeln nicht an jeder Gabelungsstelle angelegt. An dem obern Theil aufrechter Sprossen und überhaupt an den vom Boden weiter entfernten Gabelungsstellen fehlen sie ganz und selbst an vielen zunächst dem Erdboden befindlichen bemerkt man keine Spur einer Wurzelanlage. An manchen Gabelungsstellen hingegen, wo äusserlich zwar keine Wurzel sichtbar ist, können im Gewebe des Stämmchens abgestorbene Wurzelanlagen nachgewiesen werden. — Die Entfernung über dem Boden, bis zu welcher überhaupt noch Wurzeln gebildet werden, scheint nach den Arten verschieden zu sein. Das unserer Untersuchung zu Grunde liegende Exemplar von S. laevigata, zeigte die Wurzeln bis zu einer Höhe von 1 Decimeter; bei S. cuspidata waren nur an den dicht am Boden befindlichen Gabelungsstellen Wurzeln und Wurzelanlagen zu finden.

In Bezug auf die Zeit ihrer Entstehung stimmen die Wurzeln mit den Wurzelträgern überein. Wie diese werden sie an der Vegetationsspitze und zwar höchst wahrscheinlich zu gleicher Zeit mit der Verzweigung angelegt. Es sprechen dafür ganz dieselben Gründe, wie sie schon oben für die Wurzelträger angegeben wurden.

Der Bau der Wurzeln zeigt im Gegensatze zu den Wurzelträgern nicht unerhebliche Verschiedenheiten. Vor allem ist es die Lage der ersten Gefässe, die nicht central, sondern wie es schon früher für die eigentlichen Wurzeln von S. Kraussiana und Martensii angegeben wurde, seitlich, doch immerhin von der Peripherie des Gefässcylinders entfernt, entstehen, und von denen zuerst mehrere in tangentialer Richtung angelegt werden. Von da an schreitet die Verdickung nach innen fort; und demgemäss wird die Achse der Wurzel von weiten Treppengefässen eingenommen. Uebrigens wird auch hier, so wie bei den Wurzelträgern, der Gefässstrang nach aussen durch ein engzelliges Gewebe von der Rinde abgegrenzt.

Das Gewebe der Rinde erscheint in gleicher Weise, wie bei den Wurzelträgern ausgebildet. Auch hier bemerkt man keine regelmässige Anordnung der Zellen, welche sich ebenfalls in centripetaler Richtung verdicken. Mehrere der innersten Rindenschichten bleiben übrigens auch im Alter der Wurzel dünnwandig.

Bei S. laevigata und S. cuspidata sind die Epidermiszellen selbst an dicht beim Ursprunge aus dem Stengel gelegenen und über dem Boden befindlichen Stellen zu langen Haaren ausgewachsen (Fig. 12, o). Die unter der Epidermis liegende Zellschichte (n) unterscheidet sich hier von den übrigen Rindenschichten auffallend durch die Grösse ihrer Zellen, die in tangentialer Richtung stark verlängert sind, so dass von jeder derselben 2—4 der innerhalb befindlichen Rindenzellen bedeckt werden. Diese Zellschichte gehört ihrer Entstehung nach der Rinde an, indem sie auf Längsschnitten selbstständig neben der Epidermis bis an die Scheitelzelle verfolgt werden kann.

So wie die Wurzelträger von S. Martensii gabeln sich auch die Wurzeln von S. laevigata und S. cuspidata noch bevor sie in den Erdboden eindringen. Die Ebene der ersten Gabelung steht senkrecht auf der Längsachse des Stengels. In der Regel ist jede folgende Verzweigungsebene senkrecht auf der ihr vorhergehenden und die beiden Gabeläste sind gleich mächtig. Doch findet man auch öfters Verzweigungssysteme, in denen zwei auf einander folgende Theilungsebenen parallel sind, und die manchmal, ähnlich den bei Lycopodium betrachteten, mehr den Charakter einer monopodialen Verzweigung zeigen.

C. Wurzeln von Isoëtes. (Taf. XIX.)

Ueber die Wurzeln von Isoëtes hat vor Allem Hofmeister*) umfassende Untersuchungen veröffentlicht. Sie beziehen sich eben sowohl auf die Anlage derselben am Cambiummantel des Stammes und die Art ihrer Verzweigung, als auch auf die Entwicklung der einzelnen Gewebetheile aus der Scheitelzelle. Es würde uns zu weit führen, wenn wir sämmtliche Resultate seiner Beobachtungen angeben wollten. Wir müssen hierüber auf jene Abhandlung verweisen, und werden nur im Verlaufe der Darstellung den einen oder andern Punkt berühren.

Die Wurzeln von Isoëtes treten zu beiden Seiten der die Unterseite des Stammes durchziehenden Furche zu Tage. Wenn sie eine Länge von kaum 1 Mill. erreicht haben, bemerkt man an ihrer Spitze schon die Andeutung einer Gabelung, die sich parallel der Stammfurche ausbildet. Wenn man durch eine solche Wurzelspitze Querschnitte macht, so sieht man immer schon auch die Gabelungen höherer Ordnungen angelegt. Fig. 1 stellt uns den Querschnitt des Endes einer kaum 1 Mill. langen Wurzel dar; die zwei Gabelzweige erster Ordnung (I) liegen dicht aneinander, in jedem derselben sind zwei Anlagen für Strahlen zweiter Ordnung (II) sichtbar und in dem links oben befindlichen Gabelzweige zweiter Ordnung sind bereits die der dritten Ordnung (III) angelegt.

---

*) Beiträge zur Kenntniss etc. . . . 1852 I. Heft.

An ausgewachsenen Wurzeln sind die Gabelungsstellen sehr weit von einander entfernt, und es erreicht durchschnittlich die Wurzel bis zu ihrer Gabelung, die jedoch schon im Gewebe des Stammes angelegt worden ist, eine Länge von 60 Mill. Es ist also bei diesen Wurzeln, wie bei denen von Selaginella und Lycopodium, ein ungemein starkes intercalares Wachsthum thätig, und hier wie dort liegt die Vermuthung nahe, dass die Theilungen der Scheitelzelle vielleicht nur so oft auftreten, als die Zahl ihrer Verzweigungen beträgt. Dieses Verhalten der Wurzeln von Isoëtes ist um so auffallender, als im Stamme gerade das Gegentheil stattfindet, in Folge dessen die Internodien dort ganz unentwickelt bleiben. Das intercalare Wachsthum nimmt vom Grunde der Wurzel gegen ihre Spitze stetig ab, so dass die scheitelwärts gelegenen Internodien (d. h. die zwischen den Verzweigungen befindlichen Abschnitte) schliesslich eine geringere Länge erreichen. Das Aufhören der Zellentheilung beginnt am Grunde und schreitet nach dem Scheitel hin fort, zugleich beginnt das früher weisse Gewebe braun zu werden, so dass also die Wurzeln von dem Scheitel an rückwärts noch so weit weiss erscheinen, als das intercalare Wachsthum thätig ist.

Die Verzweigungen wiederholen sich 3—4 mal, und nur selten wurde fünfmalige Theilung beobachtet. Die beiden Schwesterzweige, die anfangs an einander liegen, spreitzen im ausgewachsenen Zustande um 30—40°. Dabei ist jede folgende Verzweigungsebene auf der ihr vorhergehenden senkrecht, was besonders auf Querschnitten, die wie Fig. 1 mehrere Wurzelgenerationen zeigen, deutlich wird, während an ausgebildeten Wurzeln diese Lage oft gestört erscheint.

Die Wurzeln von Isoëtes stimmen in ihrem Baue im Allgemeinen mit denen von Lycopodium und Selaginella überein. Querschnitte, die durch Wurzelspitzen geführt werden, welche der letzten Verzweigung angehörten, lassen diese Verhältnisse am deutlichsten erkennen. Der etwas excentrisch gelegene Cambiumcylinder ist von einer mehrschichtigen Rinde umschlossen, an der sich deutlich drei Partieen als innere, äussere Rinde und Epidermis unterscheiden lassen (Fig. 2—6 wo die innere Rinde schraffirt ist). Die Epidermis (o) hat im Umfange ungefähr die doppelte Anzahl von Zellen, als die ihr anliegende äussere Rinde (Fig. 2, 4, 5) deren Zellenzahl im Umfange wieder grösser ist, als die der inneren Rinde. Die äussere Rinde besteht bei den dünnsten Wurzeln selten aus einer einzigen, gewöhnlich aus zwei Zellschichten, die durch tangentiale Theilung aus einer hervorgehen, wobei sich die tangentialen Wände in den benachbarten Zellen oft nicht in gleicher Höhe ansetzen, so dass die concentrische Anordnung nicht genau eingehalten wird. Die äussere dieser beiden Zellschichten hat in Folge stellenweiser radialer Theilung im Umfange mehr Zellen als die innere, doch ist der Unterschied nie bedeutend. (Vergl. Fig. 6). Bei Gabelzweigen niederer Ordnung wiederholt sich die tangentiale Theilung in beiden Schichten ein oder zweimal, und es besteht dann die äussere Rinde aus mehreren (bis 5) Zellschichten, an denen sich ziemlich deutlich die radiale Anordnung der Zellen erkennen lässt.

Die innere Rinde besteht in dem einfachsten Falle aus 6 Zellen im Umfange. In Bezug auf die Anzahl der Schichten zeigt sie immer eine ungleichseitige Entwicklung. Sie ist nämlich in der einen Hälfte des Querschnittes mächtiger als in der anderen, in Folge dessen denn auch der von ihr umschlossene Cambiumcylinder excentrisch erscheint. (Vergl. Fig. 2—6, wo die innere Rinde schraffirt und die Zellen ihrer schwächeren Hälfte durch + bezeichnet sind). In den einfachst gebauten Wurzeln ist sie in der einen Hälfte einschichtig, in der andern zweischichtig (Fig. 2, 4—6). Bei dickeren Wurzeln ist die schwächere Hälfte zwei-, seltener mehrschichtig; die stärkere durch centripetal auftretende tangentiale Theilungen selbst fünfschichtig Die Zellen sind fast durchgehends in radiale Reihen geordnet, welche Anordnung nur an der Grenze zwischen den beiden ungleich entwickelten Hälften öfters gestört erscheint, indem sich dort, statt einer genau tangentialen, eine schiefe Wand bildet. Die ursprüngliche Anzahl der den Cambiumcylinder umgebenden inneren Rindenzellen bleibt fortwährend dieselbe, und nur selten treten in dickeren Wurzeln in der äussersten Schichte der stärkeren Hälfte radiale Theilungen auf. Wenn die Anzahl der an den Cambiumcylinder angrenzenden Zellen eine gerade war, so bestehen immer beide Rindenhälften aus der gleichen Anzahl radialer Reihen, (die sich jedoch aus dem eben erwähnten Grunde hie und da nach aussen spalten); waren sie jedoch in ungerader Anzahl vorhanden, so ist das plus immer auf Seite der stärkeren Hälfte. In solchen Fällen kann es dann geschehen, dass die letztere nahezu zwei Drittel des Querschnittes einnimmt.

Schon sehr frühe bilden sich an der Grenze der inneren und äusseren Rinde Intercellulargänge aus, die bald auch zwischen den übrigen Schichten der inneren Rinde sichtbar werden. Wir finden sie übrigens früher in der stärkeren Hälfte, wo sie auch viel rascher an Grösse zunehmen. (Vergl. Fig. 2, 4). Mit der Zeit vereinigen sich die radial hinter einander gelegenen Gänge und auch in tangentialer Richtung treten sie mit einander in Verbindung, indem auf der stärkeren Seite die innere Rinde sich gänzlich von der äusseren ablöst (Fig. 4). In der stärkeren Hälfte zerreissen nun die Zellen der inneren Rinde mit Ausnahme der an den Gefässcylinder anstossenden, und es bildet sich so eine einzige grosse von der äusseren Rinde umschlossene Luftlücke in welcher der Gefässcylinder wandständig ist, indem er durch die schwächere Hälfte der inneren Rinde an die äussere Rinde befestigt wird (Fig. 10). Bei dünnen Wurzeln, wo die innere Rinde in der schwächeren Hälfte nur aus Einer Zellschichte besteht, bleiben ihre Zellen auch in älteren Stadien fortwährend unter sich zusammenhängend, und wir finden hier bloss zwischen der inneren und äusseren Rinde die früher erwähnten Intercellularräume (Fig. 4), Bei stärkeren Wurzeln jedoch, wo die innere Rinde auch in der schwächeren Hälfte mehrschichtig ist, werden die radialen Zellreihen daselbst von einander getrennt, und es ist dann der Gefässcylinder durch die radial gestellten Scheidewände an der äusseren Rinde befestigt. Auch in diesen

Scheidewänden treten, indem die Zellen stellenweise auseinanderweichen, die benachbarten Luftgänge unter sich in Verbindung.

In Bezug auf den Gefässcylinder wurde schon oben erwähnt, dass er in Folge der ungleichen Ausbildung der inneren Rinde excentrisch gelegen ist. Bei dünnen Wurzeln (das ist bei den letzten Gabelzweigen der aus dem Stamme hervorbrechenden), bei denen der Unterschied der beiden Rindenhälften nicht bedeutend ist, ist auch die Excentricität des Gefässcylinders oft kaum merkbar; bei dickeren jedoch ist diese sehr bedeutend, und tritt besonders in älteren Stadien, wo das Gewebe der inneren Rinde schon zerrissen ist, auffallend hervor. (Vergl. die Fig. 8—10) welche Querschnitte durch eine ausgewachsene Wurzel nahe der Vereinigungsstelle zweier Gabelzweige darstellen; u sind die Luftlücken, g die Gefässcylinder). — Bei dünneren Wurzeln besteht der Cambiumcylinder aus einem Kreise von peripherischen Zellen, deren Anzahl fast ausnahmslos mit der Zahl der ihm anliegenden Rindenzellen übereinstimmt, und ferner aus 1, 2 oder 3 centralen, von denen sich eine oder zwei zu Gefässen umbilden (Fig. 2, 4, 5). Bei stärkeren Wurzeln ist die Zahl der an der Peripherie gelegenen Cambiumzellen wenig grösser, als die der umgebenden Rindenzellen (öfters bis 17); auch im Innern sind dann mehr Zellen vorhanden. In solchen Fällen liegt das erste Gefäss im Bezug auf den Cambiumcylinder deutlich excentrisch, und ist immer an die Seite der schwächeren Hälfte gerückt.

Der Cambiumcylinder ist anfangs immer einzellig (Fig. 3) und erscheint uns bei den dünnsten Wurzeln auf Querschnitten als ein regelmässiges Sechseck, das jedoch, wie es auch an mehreren Präparaten in der That beobachtet wurde, aus einem Viereck hervorgeht (Fig. 7 c; in Fig. 2 und 3 hat der Cambiumcylinder noch fast die ursprüngliche viereckige Gestalt). In den meisten Fällen geht nun das Dickenwachsthum dieser Cambiummutterzelle in der Weise vor sich, dass zuerst näher an der schwächeren Hälfte der inneren Rinde eine Längswand entsteht, wodurch die Cambiumzelle in zwei ungleiche Zellen zerfällt. (Fig 13—17, Wand 1). In der grösseren Zelle bilden sich nun senkrecht auf der zuerst entstandenen Wand, zwei etwas gebogene Längswände (2 in Fig. 13—15); auf welche dann eine vierte, der zuerst gebildeten gegenüberliegende Wand folgt (Fig. 13 und 15, Wand 3). Der Cambiumcylinder besteht in diesem Stadium aus einer centralen und vier peripherischen Zellen. In den letztern treten nun radiale Wände und zwar meist in solcher Anzahl und Vertheilung auf, dass endlich jede der an den Cambiumcylinder grenzenden Rindenzellen von einer Wand getroffen, also auch die Anzahl der Rindenzellen und der ihnen anliegenden Cambiumzellen, in Uebereinstimmung gebracht wird. Es würde uns zu weit führen, wollten wir alle Modificationen des eben erörterten Theilungsvorganges und andere beobachteten Theilungsweisen der Cambiummutterzelle anführen, und verweisen nur auf die in Fig. 13—17 dargestellten Schemen, wo die auf einanderfolgenden Wände mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet sind.

In den beiden Schwesterzweigen einer Gabelung sind die schwächeren Rindenhälften einander zugekehrt. Auch die Gefässcylinder haben diese Lage, liegen jedoch nicht in der Mitte der zugekehrten Seiten, sondern seitlich (Fig. 8, g), so dass, wenn sie sich endlich vereinigen, sie wieder excentrisch gelegen erscheinen (Fig. 9, 10).

Was die Theilungen der Scheitelzelle anbelangt, so ist Hofmeisters Darstellung*) kurz folgende: die primäre Kappenzelle wird auf normale Weise durch eine Querwand von der Scheitelzelle abgeschnitten. Die Bildung des Wurzelkörpers geschieht durch (der Längsachse der Wurzel parallele) Längswände und durch Querwände. Jedesmal nach Bildung einer eine primäre Kappenzelle abschneidenden Querwand, treten nämlich drei Längswände auf, von denen zwei auf der dritten senkrecht stehen; diesen folgt wieder eine Querwand. Die durch die drei Längswände gebildeten drei „seitlichen" Zellen bilden ausschliesslich Rinde; die durch die Querwand abgeschnittene „innere" Zelle bildet mit ihrem der Achse näher gelegenen Theile den Cambiumcylinder.

Bei Untersuchungen über Form und Theilungsweise der Scheitelzelle der Isoëteswurzeln stossen wir auf dieselben Schwierigkeiten, wie bei Lycopodium und Selaginella. Das Spitzenwachsthum eines Gabelzweiges erlischt nämlich auch bei den Wurzeln von Isoëtes bald nach seiner Anlage. Wenn er aus dem Gewebe des Mutterzweiges hervorgetreten ist, hat das Gewebe an seiner Spitze schon den Charakter eines Bildungsgewebes verloren. Für das frühe Aufhören der Zellentheilung in der Vegetationsspitze spricht auch der Umstand, dass an solchen hervorbrechenden Zweigen die innerste Kappe der Wurzelhaube immer schon ziemlich weit ausgebildet erscheint, und nie ihren Jugendzustand als ungetheilte Kappe zeigt.

Um also die Entwicklung der Gewebe aus der Scheitelzelle beobachten zu können, müsste man die jüngsten Stadien in den Spitzen von Wurzeln suchen, die äusserlich noch nicht oder erst einmal verzweigt erscheinen. Hier macht aber die Häufung der Anlagen und die daraus folgende Unsicherheit über die bezüglich der letzten Verzweigung eingehaltene Richtung des Schnittes auf Querschnitten selbst die Bestimmung des Scheitelpunktes unsicher.

Wenn man durch eine Wurzelspitze, die sich in einem Entwicklungszustande wie dem in Fig. 1 dargestellten, befindet, rechtwinklig zur ersten Verzweigungsebene einen Längsschnitt führt, um die Gabelzweige zweiter Ordnung zur Ansicht zu bringen, so erhält man immer Ansichten, die annähernd mit den in Fig. 11 und 12 dargestellten übereinstimmen. Die beiden Gabelzweige sind immer schon ziemlich entwickelt, und von der gemeinsamen Wurzelhaube bedeckt. Die ihr angehörigen und unmittelbar über den Wurzelanlagen gelegenen 2—3 Kappen erscheinen zunächst der Längsachse des Wurzelzweiges durch wiederholte tangentiale Theilungen mehrschichtig (a, a). Dieses Höhenwachsthum ist in der innersten den Wurzelanlagen unmittelbar anliegenden Kappe (es gehören dazu die mit + bezeichneten Zellen) am stärksten, und nimmt in den nach aussen gelegenen Kappen succesive ab. Durch diese stärkere Entwicklung des Gewebes der Wurzelhaube wird die durch das Längenwachsthum der beiden Anlagen sich bildende

---

*) l. c, pg. 136.

Spalte ausgefüllt, ohne dass dazu eine eigentliche Einstülpung der Kappen erforderlich wäre.

An solchen Schnitten sind meistens auch schon einige den Gabelzweigen angehörige Kappen ausgebildet, ohne dass sich in der Regel eine scharfe Grenze, weder gegen die gemeinsamen Kappen, noch gegen die Wurzelkörper angeben liesse. Am Scheitelpunkte ist von einer durch Grösse und Form ausgezeichneten Zelle nichts zu sehen, und eine bestimmte Gruppirung der Zellen ist nicht wahrzunehmen. Es scheint vielmehr, als ob die beiden Rindenpartieen (y und z), deren jede nach der Spitze in eine Zellschichte ausgeht, sich ununterbrochen über den Scheitel hinwegzögen. Es ist dies besonders im rechtseitigen Aste der Fig. 12 deutlich, wo die Zellen dieser Schichte mit o, o bezeichnet sind. Der Cambiumcylinder (c), der nach der Spitze zu allmählich wenigerzellig wird, hört endlich mit einer einzigen Zelle auf (c'), welche gegen die Rinde nicht den geringsten Anschluss zeigt, der auf eine gemeinsame Entstehung hindeuten würde. Solche Ansichten würden vielmehr die Vermuthung nahe legen, als ob über dem selbstständig fortwachsenden Cambiumcylinder zwei bedeutende Schichten sich befänden, deren innere die innere Rinde bilden würde, während aus der äusseren sich äussere Rinde mit Epidermis und Wurzelhaube entwickeln könnten. Diese Anordnung und Gruppirung ist aber nur durch die bereits eingetretene abermalige Gabelung bedingt, in Folge welcher an jedem Gabelzweige die beiden neuen Scheitel über und unter der Schnittfläche gelegen sind. Aus diesen Schnitten kann daher auf Form und Theilungsweise der Scheitelzelle kein Schluss gezogen werden.

Um nun an solchen Wurzeln einen Scheitel dritter Ordnung wirklich im Längsschnitte darzustellen, müsste man wegen der spreitzenden Stellung der Anlagen den Schnitt gegen die Längsachse der Mutterwurzel geneigt führen. An derartigen Schnitten aber erhält man in Folge der schiefen Lage derselben ein so ungeordnetes Gewebe, dass man auch in dem Falle, wenn man eine kleine Gruppe von Zellen mit bestimmter Anordnung erblickt, wegen der mangelnden Verbindung mit den umgebenden Zellen nie mit Sicherheit behaupten kann, es sei in der That der Scheitel des Gabelzweiges.

Dieselben Schwierigkeiten ergeben sich bei dem Versuche, durch Querschnitte zum Ziele zu gelangen, weil auch hier wieder wegen der gegen die Längsachse der Mutterwurzel geneigten Richtung der Wurzelanlagen immer schiefe Ansichten erhalten werden. Bevor man mit den vom Ende beginnenden Querschnitten dahin gelangt ist, wo man den Cambiumcylinder erkennt, lässt sich keine Anordnung der Zellen mit Sicherheit angeben; in diesen Stadien ist aber die Verschiebung der ursprünglichen Theilungswände schon so bedeutend, dass auf die Form der Scheitelzelle und die ersten Theilungen in den Segmenten kaum mit Bestimmtheit zurückgeschlossen werden kann.

Doch sprechen viele Gründe dafür, dass die Scheitelzelle zweischneidig sei, Abgesehen davon, dass man an Schnitten, wie die eben betrachteten, doch öfters eine Zelle wahrnimmt, um die sich das Gewebe einigermassen gruppirt, die im Querschnitte elliptisch und im Längsschnitte dreiseitig erscheint, spricht schon die elliptische Form der jüngsten Wurzelanlagen für eine nur nach zwei gegenüberliegenden Seiten eintretende Segmentbildung. Auch die ungleiche Ausbildung der Wurzeln in zwei von einander verschiedene Hälften, die in den Schwesterzweigen immer eine ganz bestimmte Lage gegen einander zeigen, lässt vermuthen, dass den beiden ungleichen Hälften auch zwei Segmentreihen entsprechen. Ferner liesse sich die regelmässige Verzweigung nach zwei auf einander senkrechten Richtungen durch die Annahme erklären, dass die beiden neuen Scheitelzellen aus der Scheitelzelle niederer Ordnung, die dann sich zu theilen aufhören würde, abgeschnitten werden, wollte man nicht die Theilung der letzteren in zwei gleichwerthige Hälften, als neue Scheitelzellen, annehmen, was übrigens wohl noch bei keiner Pflanze mit Sicherheit nachgewiesen wurde.

Gegen die Annahme einer zweischneidigen Scheitelzelle spricht auch durchaus nicht die Anordnung der Zellen auf Querschnitten, die unmittelbar hinter der Spitze geführt werden. In vielen Fällen nämlich sieht man ziemlich deutlich eine die beiden Hälften trennende Linie, die, den Cambiumcylinder tangirend, ihn ganz von der schwächeren Hälfte abschneidet. Es würde diese Linie der Begrenzungslinie der beiden horizontal gewordenen Segmente entsprechen, die jedoch schon ihrer Anlage nach ungleich sein müssten. Es würde uns zu weit führen, wenn wir hier Vermuthungen über die weiteren Theilungen anstellen wollten, und wir beschränken uns darauf, das Theilungsschema, worauf eine Menge von Querschnitten fast unwiderstehlich hinweisen, durch Fig. 7 zu veranschaulichen. h-h ist die Wand, welche die beiden ungleichen Segmente trennt, und c die in dem grössern Segment entstandene einzellige Anlage des Cambiumcylinders. Auch in den Figuren 2—6 ist die Trennungslinie der beiden Segmente durch h-h angegeben. Die weitern Theilungen, aus denen das Rindengewebe hervorgeht, zeigen zwar auch gewisse vorherrschende Typen, aber in keinem Punkte eine streng festgehaltene Regel.

Ungeachtet auf die Erforschung der Theilungsvorgänge in der Scheitelzelle der Isoëteswurzeln ausserordentlich viel Zeit und Mühe verwendet und eine Menge der schönsten Längs- und Querschnitte studirt wurden, so war es uns doch nicht möglich, zu einem befriedigenden und sichern Abschluss zu kommen. Die Ueberzeugung, die sich zuletzt geltend machte, beruht weniger auf positiven Beobachtungen, als auf negativen Ergebnissen. Es wurden nämlich nach einander die verschiedenen denkbaren Annahmen an den Schnitten geprüft und es mussten zuletzt alle als unmöglich aufgegeben werden, bis auf die eine, die wir fest gehalten haben. So wurde namentlich erörtert, ob vielleicht die Wurzel von Isoëtes, statt eines einheitlichen Wachsthums in der Scheitelzelle, ein zweifaches oder dreifaches getrenntes Wachsthum haben könnte, wofür der scheinbare Mangel einer durchgehenden Anordnung in den Geweben zu sprechen scheint, — ob also z. B. der Cambiumcylinder selbständig für sich wachse oder der Cambiumcylinder mit der innern Rinde vereint, ob die Wurzelhaube selbständig für sich wachse oder die Wurzelhaube mit der Epidermis vereint, ob die innere Rinde oder die äussere Rinde einen besondern Ursprung habe u. s. w. Es zeigte sich, dass alle diese Annahmen, wenn sie auch mit manchen Ansichten sich vereinen liessen, doch durch andere widerlegt wurden, und dass nur die Annahme durchführbar sei, dass, wie bei den übrigen Cryptogamen, Wurzelkörper und Wurzelhaube ihren gemeinsamen Ursprung im Scheitel und zwar in einer einzigen Scheitelzelle haben, da auch die Pluralität der Scheitelzellen ausgeschlossen wurde. — Nachdem die Frage soweit vereinfacht war, handelte es sich ferner darum, ob der Wurzelkörper aus der Scheitelzelle bloss durch schiefe Wände angelegt werde wie bei den übrigen Gefässcryptogamen, oder ob dabei Querwände (sei es allein, sei es alternirend mit Längswänden) betheiligt seien. Viele Schnitte liessen darüber in Zweifel, viele andere aber zeigten entschieden, dass an Querwände nicht zu denken sei. Hofmeister, der eine detaillirte Beschreibung der Theilungsvorgänge gibt und dabei Quer- und Längswände in der Scheitelzelle sich bilden lässt, scheint nur wenige Schnitte und diese, nach den Abbildungen zu schliessen, von ausgewachsenen Spitzen gehabt zu haben. — Schliesslich fragte es sich noch, ob die schiefen Wände in der Scheitelzelle nach 2, 3, 4 oder mehr Richtungen wechselten; von diesen Fällen wurden alle bis auf den ersten durch bestimmte Beobachtungen ausgeschlossen. Unsere Annahme einer zweischneidigen Scheitelzelle in den Isoëtes-Wurzeln wird also nicht durch zwingende positive Thatsachen, nicht durch die unwiderlegliche Wahrnehmung dieser Scheitelzelle gefordert, sondern nur desswegen nahe gelegt, weil die übrigen denkbaren Annahmen aufgegeben werden mussten.

D. Wurzeln einiger Phanerogamen. (Taf. XX; XXI, 1—7).

Zahlreiche Untersuchungen, das Scheitelwachsthum der Wurzeln phanerogamer Pflanzen Schritt für Schritt zu verfolgen, führten zu keinem Resultate. Am Scheitel ist immer ein scheinbar ungeordnetes Meristem vorhanden, und erst in einem Stadium, wo man Cambiumcylinder und Rinde deutlich unterscheiden kann, ist eine regelmässige Anordnung ersichtlich. — Um nun dem Ziele näher zu kommen, versuchten wir, die Entwickelung der Wurzeln von der ersten Anlage an zu beobachten. Es schienen hiezu vor Allem die Nebenwurzeln (die Verzweigungen der Wurzeln) geeignet, einmal, weil sie im Baue viel einfachere Verhältnisse zeigen, als die primären Wurzeln, und ferner, weil sie bei manchen Pflanzen ungemein zahlreich auftreten.

Pontederia crassipes Mart. (Taf. XX, 1—5).

Die an den Knoten des Stengels hervorbrechenden Wurzeln dieser Pflanze zeigen, wenn sie die Länge von einigen Mill. erreicht haben, in geringer Entfernung von der Spitze eine grosse Anzahl von sehr gedrängt stehenden Höckern, die sich später zu Nebenwurzeln entwickeln. Entsprechend der Zahl der in der Hauptwurzel verlaufenden Gefässstränge sind sie in 5—8 Längsreihen geordnet, die aber dadurch, dass die Wurzel sich später dreht, in rechtsläufige Spiralen übergehen.

Bevor wir die Entstehung dieser Nebenwurzeln betrachten, müssen wir einiges über den Bau ihrer Mutterwurzeln vorausschicken. Der Querschnitt durch einen noch jungen Wurzeltheil zeigt uns eine äusserst regelmässige Anordnung des Zellgewebes. In der Rinde unterscheiden wir deutlich die kleinzellige Epidermis (Taf. XX, Fig. 1, o), darunter als äussere Rinde (y) eine Schichte, die sich ein- oder zweimal tangential theilt, und deren Zellen ohne Intercellularräume aneinander schliessen. Auf diese folgt die innere Rinde (z), die längere Zeit durch Tangentialtheilungen in centripetaler Folge an Dicke zunimmt. Ihre Zellen sind äusserst regelmässig in radiale Reihen und concentrische Kreise geordnet, und lassen zwischen sich Intercellularräume, die entsprechend der Entwicklung der Zellen von aussen nach innen an Grösse abnehmen. Die radialen Reihen der inneren Rinde spalten sich durch centripetal fortschreitende radiale Theilungen, wodurch übrigens die regelmässige Anordnung des Gewebes durchaus nicht gestört wird. Von der innersten Rindenschicht (i) umschlossen, liegt der centrale Gefässcylinder. Die ursprünglichen Vasalstränge sind meist in der Zahl von 6 vorhanden; ihre äussersten und ersten Gefässe sind immer durch eine Zellschicht von den innersten Rindenzellen getrennt. Diese Schicht (p) entspricht dem Pericambium der Gefässcryptogamen und unterscheidet sich, wie dort, von den übrigen Cambiumzellen durch die Grösse ihrer Zellen, die ausserdem noch radial verlängert sind. Um das Centrum des Cambiumcylinders herum liegen mehrere weite Gefässe, die von einander durch eine oder zwei Lagen von kleinen Zellen getrennt sind.

Lange bevor die Verholzung der ersten Gefässe eintritt, beginnen einzelne Gruppen der an der Oberfläche des Cambiumcylinders gelegenen Pericambiumzellen in radialer Richtung stärker zu wachsen, und durch Wände, welche diese Richtung rechtwinklig schneiden, sich zu theilen. Diesem Wachsthum geht eine wiederholte locale Theilung durch Querwände voraus, wodurch die in der Richtung der Achse verlängerten Pericambiumzellen hier ziemlich isodiametrisch werden.

Jede dieser Gruppen besteht aus zwei centralen, im Querschnitte durch die Wurzel neben einander liegenden (Fig. 1, q, q) und aus sechs dieselben umgebenden Zellen; so dass also im Querschnitte durch die Wurzel deren vier (d, q, q, e), im radialen Längsschnitte drei nebeneinander gesehen werden. Wenn man eine solche Gruppe im tangentialen Längsschnitte von aussen betrachtet, so kommen natürlich sämmtliche acht Zellen zur Ansicht.

Die beiden centralen Zellen verlängern sich vom Anfange an in radialer Richtung mehr als die übrigen, wachsen in ihrem äusseren Theile stärker in die Breite als in ihrem inneren und werden somit kegelförmig, worauf sie sich in zwei hintereinander liegende Zellen theilen (Fig. 1, q). Die äussere dieser beiden Zellen wächst wieder viel stärker und theilt sich früher als die innere, und das lebhaftere Wachsthum dauert auch in ihren Nachkommen fort. Es entstehen somit aus den äusseren Hälften der beiden centralen Zellen zwei Zellencomplexe, deren andauernd stärkere Entwickelung die sie umgebenden Zellen immer mehr verdrängt und den Anfang der jungen Wurzel darstellt, welche somit zwei Scheitelzellen besitzt. Es scheint jedoch, dass nun im Laufe der weiteren Entwicklung einer der beiden Complexe die Oberhand gewinnt und den andern verdrängt, so dass dann die junge Wurzel mit einer einzigen Scheitelzelle weiter wächst. Diess kann früher oder später eintreten. In Fig. 2 und 3 ist die Endzelle des einen Complexes im Begriff zur alleinigen Scheitelzelle zu werden (v).

Mit der Entwickelung der Wurzelanlage hat aber auch das Wachsthum der innersten Rindenschicht gleichen Schritt gehalten. Sobald die Wurzelanlagen sichtbar werden, bemerkt man, dass die dieselben bedeckenden und drei Längsreihen angehörigen Rindenzellen, entsprechend dem radialen Wachsthum der Pericambiumzellen, nach aussen gedrängt werden. In diesen Zellen unterbleibt die weitere tangentiale Theilung, die sonst meistens in allen übrigen Zellen der innersten Rindenschicht noch thätig ist (Fig. 1, i — i). Dafür theilen sie sich nun durch radiale Wände, die sich in dem Maasse wiederholen, als in Folge des Wachsthumes der Wurzelanlage die Zellschicht ausgedehnt wird. Es hält somit die Ausdehnung dieser Zellschicht gleichen Schritt mit dem Wachsthum der Wurzelanlage, und umhüllt diese fortwährend aussen und seitlich, während die ausserhalb gelegenen Rindenschichten nach und nach zusammengedrückt und resorbirt werden. In Fig. 1, 2 und 3 sind die Zellen der innersten Rindenschicht (i), welche die Wurzelanlage bedecken und ursprünglich aus drei Zellen hervorgegangen sind, durch × bezeichnet. Mit der Weiterentwickelung der jungen Wurzel, und zwar zu der Zeit, nachdem die zwei centralen Zellencomplexe durch Verdrängung der seitlichen allein den Scheitel eingenommen haben, und wo dann wahrscheinlich durch Verdrängung des einen das Scheitelwachsthum mit einer einzigen Scheitelzelle sich fortsetzt, beginnt der die Wurzelanlage umgebende Theil der innersten Rinde auch in die Dicke zu wachsen, indem die bisher noch einfache Schicht allmählich in zwei Schichten sich spaltet. Dieses Wachsthum ist am stärksten unmittelbar über dem Scheitel der jungen Wurzel, wo auch zuerst die Theilungen eintreten und sich dann in den inneren Zellen noch ein- oder zweimal wiederholen, und nimmt gleichmässig gegen den Grund derselben ab, wo auch die Schichte immer einfach bleibt (Fig. 4). Durch diesen Theilungsvorgang, verbunden mit der viel bedeutenderen Längsstreckung der Zellen an der Spitze nimmt die kappenförmige Umhüllung der Wurzel, die anfangs eine Kugelmütze darstellte, endlich die Form eines sehr spitzen Kegels an. Mit dem fortschreitenden Längenwachsthum der Wurzel trennt sie sich endlich am Grunde, wo sie nur aus einer Zellenlage besteht, von den benachbarten Zellen der innersten Rindenschicht los, und wird nun als Wurzelhaube von der sich rasch verlängernden Wurzel aus dem Gewebe der Mutterwurzel herausgehoben (Fig. 5). Schon während ihres Durchbruches durch die Rinde hat die Zellentheilung in ihr vollkommen aufgehört, obwohl sie noch längere Zeit durch Streckung der seitlich gelegenen Zellen an Länge zunimmt.

Es stellt also bei Pontederia die Wurzelhaube ihrer Entstehung nach ein von dem Wurzelkörper ganz unabhängiges Gebilde dar, unterscheidet sich also wesentlich von der Wurzelhaube, wie wir sie bei den Gefässkryptogamen, als aus der Scheitelzelle des Wurzelkörpers entstanden, kennen. Daher fehlen auch an der Epidermis des Wurzelkörpers jene zahnartigen Vorsprünge, welche von den Seitenflächen der Scheitelzelle durch die die primäre Kappenzelle bildende

Querwand abgeschnitten werden (Vergl. pg. 78). Es besteht demgemäss zwischen dieser unächten Wurzelhaube und dem Wurzelkörper keine innige Verbindung, und sie lässt sich als zusammenhängende Kappe, ohne dass sie zerrissen oder die Epidermis des Wurzelkörpers verletzt würde, von dem letzteren abziehen. Von der wahren Wurzelhaube unterscheidet sie sich weiters aber noch dadurch, dass ihre äusseren Schichten nicht abgestossen werden. Da in ihr ferner nach ihrem Austritt aus der Mutterwurzel keine Zellentheilungen mehr eintreten, so umhüllt sie den Wurzelkörper fortwährend in derselben Mächtigkeit. Im Alter sind ihre Zellen mit Amylum erfüllt, und die Zellwände erscheinen violet gefärbt.

Oryza sativa Lin. (Taf. XX, 6—14; XXI, 1).

Die Entwickelung der Wurzeln von Oryza ist von der, wie wir sie bei Pontederia kennen gelernt haben, nicht wesentlich verschieden. Die Untersuchung ist aber bei dieser Pflanze viel leichter, weil die Nebenwurzeln genau rechtwinklig auf der Längsachse der Mutterwurzel stehen, während sie bei Pontederia unter einem Winkel von 30—40° gegen jene geneigt sind. Es ist dies in so ferne von grossem Vortheile, als wir auf Querschnitten, die wir durch die Mutterwurzel führen, die Nebenwurzeln genau im Längsschnitte treffen und sie auf diese Weise im Verlaufe ihrer Entwickelung verfolgen, besonders aber ihren Anschluss an den Gefässcylinder der Mutterwurzel genauer beobachten können.

Der Bau der Mutterwurzeln ist dem der Wurzeln von Pontederia ähnlich. Wir unterscheiden die Epidermis, die 1-3schichtige äussere Rinde, und die mehrschichtige innere Rinde, in der die tangentialen Theilungen ebenfalls ausschliesslich in centripetaler Folge auftreten. Auch die ausnehmend regelmässige Anordnung ihrer Zellen und der zwischen ihnen sich bildenden Intercellularräume haben die Wurzeln von Oryza mit denen von Pontederia gemein. Der centrale Gefässcylinder zeigt im Allgemeinen denselben Bau. Auch hier ist ein aus einer einfachen Zellschicht bestehendes Pericambium vorhanden, auf das nach innen engere Zellen folgen. Die Achse des Gefässcylinders wird von mehreren weiten Gefässen eingenommen, die von einander durch eine Lage von Zellen getrennt sind. In Bezug auf die Stellung der primordialen Gefässe jedoch beobachten wir bei Oryza im Gegensatze zu Pontederia einen wesentlichen Unterschied. Zwar sind auch hier einzelne Gefässgruppen innerhalb des Pericambiums gelegen; die Mehrzahl derselben aber ist zwischen die Zellen des Pericambiums eingeschoben, so dass die äussersten Gefässe unmittelbar an die Rindenzellen angrenzen.

Die Wurzelanlagen entstehen aus den zwischen zwei primordialen Gefässsträngen gelegenen Pericambiumzellen. In der Regel sind es drei, seltener vier Längsreihen solcher Zellen (auf dem Querschnitt 3 oder 4 Zellen), welche diesen Raum ausfüllen. Wie bei Pontederia, werden auch hier die sonst langgestreckten Pericambiumzellen durch das Auftreten von Querwänden zuerst isodiametrisch gemacht (Fig. 13, a—f). Wie viel solcher Zellen von jeder Längsreihe in die Wurzelanlage mit einbezogen werden, scheint an kein bestimmtes Gesetz gebunden zu sein. In der Regel sind es 3 oder 4 der mittleren Reihe, und 2 oder 3 jeder der beiden seitlichen Reihen, so zwar, dass eine oder zwei centrale Zellen (die dann nicht wie bei Pontederia neben- sondern übereinander liegen) von 6 peripherischen umgeben sind (Fig. 13). Nach dem Auswachsen sämmtlicher Zellen in radialer Richtung, nimmt die mittlere Zelle nach und nach Kegelform an, und theilt sich, so wie die seitlichen, wiederholt durch Querwände (Fig. 6—8, e, q, e).

Die Wurzelanlage ist auf dem Querschnitte anfänglich von 2 Zellen der innersten Rinde bedeckt. Mit zunehmendem radialen Wachsthume der Anlage werden dieselben nach aussen geschoben, (Fig. 6, 8, m, m), bleiben jedoch mit den beiderseits benachbarten innersten Rindenzellen (n), die in schiefer Richtung auswachsen, in Verbindung (Fig. 6, 8). Jene beiden, ausserhalb der Wurzelanlage liegenden Zellen (m, m) theilen sich zuerst durch radiale (Fig. 7, m; diese 4 Zellen sind hier ausnahmsweise aus einer einzigen Zelle der innersten Rinde entstanden) und später auch durch tangentiale Wände und bilden sich zur Wurzelhaube um, die im ausgewachsenen Zustande an ihrer Spitze meist dreischichtig, am Grunde dagegen stets einschichtig ist. Die seitlichen Zellen (n, n) werden mit der Weiterentwicklung der Wurzelanlage bald vollkommen radial gestellt, und theilen sich durch 2 oder 3 Querwände (Fig. 7, 9). Mit dem zunehmenden Längenwachsthume der jungen Wurzel trennen sie sich von den äusseren, die Wurzelhaube bildenden Zellen los und während jene immer weiter emporgehoben werden, umhüllen diese fortwährend scheidenförmig den Grund der Wurzel (Fig. 11, wo auf der linken Seite die Trennung zwischen n und m bereits erfolgt ist).

Die eigentliche Wurzelanlage hat sich mittlerweile weiter entwickelt. Aus den drei Pericambiumzellen, welche sie anfänglich auf dem Querschnitte der Mutterwurzel darstellten, sind drei radiale Reihen von 3—5 Zellen geworden (Fig. 7, 9; die innersten Zellen derselben sind durch e, q, e bezeichnet). Die Endzelle der mittlern Reihe ist merklich verbreitert; sie theilt sich durch eine ziemlich nahe der Aussenfläche auftretende Querwand. Die auf diese Weise gebildete Zelle (Fig. 9, k), die ihrer Entstehung und Form nach einer primären Kappenzelle ähnlich ist, wächst nun rasch in die Breite, und theilt sich dann wiederholt durch Wände, welche auf der Aussenfläche senkrecht stehen und der Längsachse der jungen Wurzel nahezu parallel sind (Fig. 10, 11). Zugleich nehmen ihre anfangs unter spitzem Winkel gegen den Wurzelkörper convergirenden Seitenwände (Theile der frühern Scheitelzelle) immer mehr eine auf der Längsachse der jungen Wurzel senkrechte Lage an (Fig. 9—11) und fallen dann mit der Querwand in eine Ebene. Es ist daher die in Fig. 11 die Kappe k-k gegen den Wurzelkörper abgrenzende gerade Linie aus den drei ursprünglich gegen einander geneigten Seiten eines Trapezes entstanden. Diese Seitentheile erscheinen in spätern Stadien sogar grundwärts gebogen, und es erhält so endlich die ganze aus der Zelle k in Fig. 9 hervorgegangene Kappe ihre gewöhnliche Form und umhüllt die Vegetationsspitze des Wurzelkörpers. Wir haben also hier den merkwürdigen Fall vor uns, dass die die entwickelte Wurzel umgebende Wurzelhaube aus zwei ihrer Entstehung nach wesentlich verschiedenen Theilen besteht, oder vielmehr dass zwei genetisch verschiedene Wurzelhauben vorhanden sind, die äussere, welche (wie bei Pontederia) aus der Rinde der Mutterwurzel entsteht, und die innere, welche (wie bei den Gefässcryptogamen) durch die junge Wurzel selbst gebildet wird. Beide Theile lassen sich auch an älteren Wurzeln vollkommen scharf unterscheiden. Es scheint übrigens, dass mit der Bildung dieser einen Kappe, die durch Zelltheilung in zwei oder drei Schichten zerfallen kann, die Neubildung der Wurzelhaube aus dem Wurzelkörper auch abgeschlossen ist.

Bis zur Entstehung der die Wurzelhaubenzelle abschneidenden Querwand, haben sich die den Wurzelkörper zusammensetzenden Zellenreihen gleichmässig verlängert und durch Querwände getheilt. In Folge eines stärkeren Längenwachsthumes der Wurzelanlage zunächst ihrer Achse werden die den seitlichen Reihen angehörigen Querwände nach und nach gegen die Spitze der Wurzel aufgerichtet (Vergl. Fig. 8, 7, 9, e). In Folge dieser Verschiebung können die aus den Zellen der seitlichen Reihen hervorgegangenen Gewebepartieen in ihren Umrissen später nicht mehr erkannt werden. Die aus der mittleren Zelle durch wiederholte Quertheilung hervorgegangene Zellreihe lässt sich jedoch noch längere Zeit deutlich unterscheiden (Fig. 10, q). Im Querschnitte der jungen Wurzel erscheint sie als ein das Centrum der Wurzel einnehmendes Sechseck, aus dem sich durch weitere Theilungen das Gewebe entwickelt, das die Verbindung des Gefässcylinders der jungen Wurzel mit dem der Mutterwurzel herstellt. In Fig. 13 erscheint uns diese Centralzelle (o) noch ungetheilt, sie ist umgeben von 6 Zellen (a, b, c, d, e, f, — entsprechend den Zellen e in Fig. 7, 9), die ihrerseits von den Zellen der basilaren Scheide (n, entsprechend den Zellen n in Fig. 7, 9) begrenzt werden.

In späteren Stadien sind die die Centralzelle umgebenden Zellen durch tangentiale Längswände getheilt, und bilden das Rindengewebe der Wurzel. Der aus der Centralzelle hervorgehende Cambiumcylinder besteht in seiner einfachsten Form aus einer mittleren Zelle, die von 6 peripherischen umgeben wird. Fig. 12, A zeigt uns den Querschnitt durch eine junge noch im Gewebe eingeschlossene Wurzel. Wir sehen im Cambiumcylinder q—q denselben Theilungsvorgang eingehalten, wie er sich uns aus den Fig. B und C, die Querschnitte durch jüngere Cambiumcylinder darstellen, ergibt.

Es wurde schon oben erwähnt, dass in der Wurzelanlage öfters zwei centrale Pericambiumzellen beobachtet werden, welche in der Richtung der Achse der Mutterwurzel hinter einander liegen. In diesem Falle besteht auch die Anlage des Cambiumcylinders schon ursprünglich aus 2 Zellen, und es lässt sich späterhin diese ihn in zwei gleiche Hälften theilende Wand ziemlich deutlich erkennen (Fig. 1 auf Taf. XXI zwischen q—q).

Im Cabiumcylinder der Nebenwurzeln von Oryza bilden sich zwei primordiale Vasalstränge, deren jeder nur aus 1 Spiralgefäss besteht. Sie liegen in der Längsachse der Mutterwurzel*) und an der Peripherie des Cambiumcylinders, entstehen also aus den äussersten Cambiumzellen. Entsprechend der Stellung der Wurzelanlage zwischen zwei primordialen Gefässsträngen der Mutterwurzel spaltet sich jeder Primordialstrang der Nebenwurzel am Grunde in zwei Schenkel, welche sich rechts und links an die Stränge der Mutterwurzel ansetzen.

---

*) In den Nebenwurzeln der Gefässcryptogamen sind sie quer gestellt.

Bis zur Entstehung der die primäre Kappenzelle abschneidenden Querwand, war von einer an der Spitze der Wurzelanlage gelegenen, durch Form und Grösse sich auszeichnenden Scheitelzelle nichts zu sehen. Nach dem Auftreten jener jedoch gewahrt man bald über der mittleren Zellenreihe deutlich eine dreiseitige Zelle, um die herum sich das Gewebe gruppirt, und es lassen sich häufig die schief gegen die Längsachse der Wurzel geneigten Segmente erkennen (Fig. 11, v). Es ist also wohl unzweifelhaft, dass die Endzelle jener mittleren Reihe nach Bildung der Kappenzelle anfängt, sich durch schiefe Wände zu theilen und die Rolle der Scheitelzelle in den Wurzeln der Gefässkryptogamen zu übernehmen. Sie bildet fortan den Wurzelkörper in seiner ganzen Mächtigkeit, indem die seitlichen Zellenreihen nun aufhören in die Länge zu wachsen. Ueber die Form der Scheitelzelle (ob zwei, drei oder vierseitig) liess sich nichts Sicheres ermitteln. Die Anordnung des Zellgewebes auf Querschnitten durch die junge Wurzel bleibt auch nach dem Auftreten der Scheitelzelle ziemlich dieselbe. Ueber die nähern Vorgänge bei dem erwähnten Wechsel des Längenwachsthums können wir ebenfalls nichts Positives angeben, als dass die mittlere Zellenreihe am Ende sich stark verbreitert und somit auch den Raum erfüllt, der früher von den seitlichen Reihen eingenommen wurde.

Andere Phanerogamen (Taf. XXI, 2—7).

Die Untersuchungen, welche wir an Nebenwurzeln anderer Pflanzen wie Veronica Beccabunga, Lysimachia thyrsiflora, Nasturtium officinale u. A. anstellten, gestatten, den aus den Untersuchungen an Pontedaria und Oryza gewonnenen Resultaten insoferne eine allgemeinere Ausdehnung zu geben, als die Wurzelanlage immer aus Pericambiumzellen hervorgeht, und die innerste Rindenschicht überall mit zur Bildung der Wurzelhaube verwendet wird. In Bezug auf die Stellung der Wurzelanlage gegen die primordialen Gefässstränge der Mutterwurzel, scheint dieselbe jedoch häufiger unmittelbar vor einem Strange als wie bei Oryza zwischen zwei derselben sich zu entwickeln. Ein Beispiel dafür geben uns die Figuren 2—5, welche Längsschnitte durch Wurzelanlagen (auf Querschnitten der Mutterwurzeln) von Lysimachia darstellen. Unmittelbar an das primordiale Gefäss g stösst die mittlere Pericambiumzelle q an, die sich in Fig. 5 durch 2 Querwände, in Fig. 3 zuerst durch eine Querwand, dann in der äussern Hälfte durch eine schiefe Wand getheilt, und schon die charakteristische Kegelform angenommen hat. Zugleich sehen wir die innerste Rindenschicht (i-i) der Mutterwurzel über der Wurzelanlage ausgebuchtet (n—m) und in Fig. 3 auch schon durch radiale Längswände getheilt (indem m, m und n, n je aus einer innersten Rindenzelle entstanden sind).

Die weitere Zellvermehrung in den sich zur Wurzelhaube umwandelnden innersten Rindenzellen, wie sie sich in der Flächenansicht darstellt, ist aus Fig. 6 auf dem tangentialen Längsschnitt der Mutterwurzel ersichtlich. Drei Längsreihen von Rindenzellen (n, m, n) haben sich bei der Bildung der Wurzelhaube betheiligt, und es scheint, dass nur eine Zelle jeder Längsreihe dazu verwendet wurde. In allen 3 Zellen traten zuerst Querwände (mit Rücksicht auf ihre Lage in der Mutterwurzel) auf, in jeder der seitlichen eine (g), in der mittleren zwei (g^1-g^1 und g^1-g^1); auf dieselben folgten dann in den äusseren Zellen radiale Längswände (h), in den mittlern Zellen radiale Längswände und Querwände. Uebrigens scheint es keine bestimmten Regeln rücksichtlich des Wechsels von Quer- und Längswänden zu geben.

Bei anderen Phanerogamen entsteht die Wurzelhaube noch auf eine andere Weise. Bei Limnanthemum nämlich beobachtet man, dass, während ein Theil der Wurzelhaube, wie bei Oryza, aus der innersten Rindenschicht der Mutterwurzel und ein anderer Theil von der Scheitelzelle der jungen Wurzel selbst gebildet wird, auch die der Scheitelregion zunächst gelegenen Epidermiszellen sich noch durch tangentiale Wände theilen, und je die äussern Tochterzellen an die Wurzelhaube abgeben. Auf Längsschnitten sieht man nämlich die Epidermis der jungen Wurzel scheitelwärts immer in Schichten der Wurzelhaube übergehen und auch auf Querschnitten durch Wurzelspitzen finden wir eben so häufig Stellen, an welchen die Epidermis deutlich erkannt und scharf von der Wurzelhaube geschieden erscheint, als andere, wo durch Quertheilungen in den Epidermiszellen jede Grenze zwischen dem Wurzelkörper und der Wurzelhaube verschwindet.

In Fig. 7 ist die Epidermis durch × und — bezeichet; was ausserhalb dieses Zellenringes liegt, ist Wurzelhaube und wird nach und nach verschwinden. Mehrere Epidermiszellen (die mit — notirten) haben sich vor kurzer Zeit, einige soeben erst tangential getheilt, was man an den jungen zarten Membranen und der Form der Zellen erkennt. Von den beiden Tochterzellen wird immer die äussere Wurzelhaube während die innere Epidermis bleibt.

Wir fassen noch kurz die Resultate aus unsern Untersuchungen über die Entstehung und das Wachsthum der Phanerogamenwurzeln zusammen. Was zuerst deren Entstehung betrifft, so beschränken sich unsere Beobachtungen auf den Ursprung der Nebenwurzeln (Wurzelverzweigungen), und es ist wohl unzweifelhaft, dass diese Frage zuerst bis in ihre Einzelheiten beantwortet sein muss, ehe man sich an die mit ungleich mehr Schwierigkeiten verbundene Erforschung des Ursprungs der primären Wurzeln mit Erfolg wagen kann.

Die Nebenwurzeln der wenigen von uns untersuchten, aber verschiedenen Monocotyledonen- und Dicotyledonen-Ordnungen angehörenden Pflanzen entstehen ohne Ausnahme aus dem Pericambium. Hierin finden wir einen bemerkenswerthen Unterschied von den Gefässcryptogamen mit dreiseitiger Scheitelzelle, wo sie aus den innersten Rindenzellen entspringen. — Die erste Bildung der Wurzelanlagen findet, wie bei den genannten Gefässcryptogamen, nur nahe der Scheitelregion der Mutterwurzel statt, zu einer Zeit, wo die für die primordialen Gefässe bestimmten Cambiumzellen sich noch nicht von dem übrigen Cambium unterscheiden lassen. Während bei den genannten Gefässcryptogamen die Wurzelanlage immer einem primordialen Gefäss opponirt ist, zeigt sie bei den Phanerogamen bald eben diese Lage, bald befindet sie sich in der Mitte zwischen zwei primordialen Vasalsträngen.

Das Pericambium ist bei den untersuchten Phanerogamenwurzeln ein einschichtiger Cylindermantel von langgestreckten Zellen. An der Stelle, wo eine Nebenwurzel entstehen soll, theilen sich die Pericambiumzellen durch Querwände, und werden dadurch isodiametrisch. Von diesen Zellen verlängert sich eine ganze Gruppe (mindestens sind es 7, ihre Zahl kann aber auch bis auf 20 steigen) in radialer Richtung, doch so dass die im Centrum der Gruppe befindlichen immer stärker wachsen als die peripherischen. Mit diesem radialen Wachsthum ist eine entsprechende Theilung durch Wände, welche rechtwinklig auf der Wachsthumsrichtung stehen, verbunden, so dass jede der ursprünglichen Zellen sich in eine 2–5 gliedrige Reihe verwandelt. Die peripherischen Zellen hören bald auf zu wachsen, indem sie durch die mittleren Reihen, welche am äussern Ende breiter werden und den ganzen Raum einnehmen, verdrängt werden. Die mittleren Reihen, wenn es zwei oder mehrere sind, werden bald auch bis auf eine einzige, die übrig bleibt, verdrängt. Dieses Verdrängen geschieht rascher und einfacher, wenn von Anfang an eine ausgezeichnete centrale Zelle vorhanden ist, langsamer und undeutlicher, wenn zwei oder vier gleichberechtigte Zellen mit einander um die Wette wachsen. Die Endzelle der zuletzt allein übrig bleibenden Reihe wird zur Scheitelzelle der Wurzel, welche sich nun im Wesentlichen eben so verhält wie die dreiseitige Scheitelzelle der Gefässcryptogamen. Sie theilt sich nämlich durch Querwände, um Kappen der Wurzelhaube, und durch schiefe Wände, um Segmente des Wurzelkörpers zu bilden.

Dieser Wachsthumsprocess kann, wie es scheint, auf jeder Stufe stehen bleiben. Es gibt Nebenwurzeln, wo es gar nicht zur Bildung einer eigentlichen Scheitelzelle, noch von Wurzelkappen und Segmenten kommt (Pontederia). Andere, wo die Scheitelzelle nur eine einzige Kappe bildet, und bald sich zu theilen aufhört (Oryza) und noch andere, wo die Thätigkeit der Scheitelzelle länger andauert und wiederholt Wurzelkappen erzeugt.

Während bei den Gefässcryptogamen mit dreieckiger Scheitelzelle die innerste Schicht der Rinde die ganze Wurzelanlage bildet, so erzeugt sie bei den Phanerogamen doch wenigstens ein Stück derselben, nämlich die Anlage für die ganze Wurzelhaube oder für deren erste Hälfte. Die Wurzelhaube, welche die junge Nebenwurzel umhüllt, entsteht nämlich aus einer oder einigen wenigen Rindenzellen. Gelangt die Nebenwurzel nicht zur Bildung einer eigentlichen Scheitelzelle, so erfährt auch die Wurzelhaube keine weitere Vermehrung. Tritt dagegen eine wirkliche Scheitelzelle auf, so entstehen aus derselben noch eine oder mehrere Kappen nach Art der Gefässcryptogamen. Wir können den aus der Rinde hervorgegangenen Theil, da er ursprünglich einschichtig ist und diesen Bau auch im entwickelten Zustand noch an seinem grundsichtigen Ende bewahrt, da er also die Entwickelungsgeschichte und die Structur einer Wurzelkappe hat, auch mit diesem Namen bezeichnen. Dann haben wir also unter den Phanerogamen solche, deren Wurzelhaube nur aus einer einzigen von der Rinde gebildeten Kappe besteht, und solche, wo zu dieser Rindenkappe noch eine oder mehrere eigene Kappen hinzukommen.

Die eigenthümliche, nur bei einigen Phanerogamen vorkommende Erscheinung, dass auch die Epidermis Wurzelhaube bildet, dient nur dazu die eigenen Kappen zu verdicken. Sie ist übrigens auf die Wurzelspitze beschränkt und im Princip nicht verschieden von den Theilungsvorgängen in der Scheitelzelle selbst, indem sie als eine vom Scheitel sich weiter grundwärts fortsetzende Kappenbildung aufgefasst werden kann.

E. Rhizoide von Psilotum (Taf. XXI, 8—12).

Der in der Erde befindliche Theil der Pflanze besteht aus einem vielfach verzweigten Gerüste wurzelartiger Organe, die in ihren älteren Theilen mit langen braungefärbten Haaren dicht besetzt sind, während die vegetirenden Spitzen gelblich gefärbt und auf grössere oder geringere Entfernungen unbehaart sind. Bei Betrachtung mit unbewaffnetem Auge glaubt man zwei Arten dieser Organe unterscheiden zu können. Die einen nämlich sind etwas dicker, namentlich gegen die Spitze; der Vegetationskegel ist ganz allmählich zugespitzt und bis auf mehrere Millimeter vom Scheitel unbehaart. Bei der andern Art ist der Vegetationskegel ziemlich flach und die Behaarung lässt nur einen kleinen Theil frei; auch sind die ganzen Organe schmächtiger. — An den Organen der ersteren Art, den dickeren nämlich, beobachtet man in der Regel zwar erst mit Zuhilfenahme der Lupe, hie und da am nackten Vegetationskegel, oft zunächst der Spitze kleine schuppenförmige Blättchen, wodurch sie sich hinlänglich als unterirdische Stammtheile charakterisiren. Sie liegen meist oberflächlich, mit ihren Enden schief aufwärts geneigt; es sind die später über den Boden sich erhebenden und fructificirenden Sprosse. An der zweiten Art von Organen findet man keine Spur von Blättchen, und man wäre geneigt, sie trotz ihrer sonstigen Uebereinstimmung mit denen der ersten Art für Wurzeln zu halten, wenn nicht bei der anatomischen Untersuchung sogleich der Umstand dagegen spräche, dass ihr Vegetationskegel, wie bei den Organen der ersten Art frei, das heisst von keiner Wurzelhaube bedeckt ist. Beide Arten von Organen verhalten sich auch rücksichtlich ihres Längenwachsthumes durchaus gleich; Unterschiede in der Structur werden erst in grösserer Entfernung vom Vegetationspunkte bemerkbar.

Die Spitze des Vegetationskegels wird bei allen diesen Organen von einer dreiseitigen*) Scheitelzelle eingenommen. Die in ihr auftretenden Theilungswände sind jedoch nicht den Seitenflächen parallel, sondern divergiren nach der anodischen Seite. Demzufolge sind die Seitenwände der jungen Segmente ungleich, indem die kathodische Seitenfläche von der anodischen an Breite übertroffen wird (Fig. 8 und 8 B; v ist die Scheitelzelle; die jüngsten Segmente befinden sich ausserhalb der Wände 8 und 7). In Folge dieses Umstandes und insbesondere wegen des raschen Wachsthumes der Segmente ist die Scheitelzelle oft schwierig zu erkennen. Fig. 8 B gibt die schematische Darstellung des Scheitelwachsthumes von Fig. 8; 1—1, 2—2, 3—3, 4—4, 5—5, 6, 7 und 8 sind die aufeinanderfolgenden Theilungswände der Scheitelzelle; es sind die nämlichen, wie die gleichbezeichneten in Fig. 8.

---

*) Hofmeister. (Vergl. Unters. p. 126) gibt eine zweischneidige Scheitelzelle an.

Wir haben hier also einen Fall, wo die Divergenz der Segmente grösser ist, als ⅓ des Umfanges (vgl. oben pag. 94). Es ist jedoch unmöglich, den Divergenzwinkel zu messen, da die Segmente durch rasches Anwachsen theils ihre Gestalt und Lage ändern, theils sehr bald undeutlich werden, so dass man selten mehr als 3 Segmente um die Scheitelzelle herum wirklich erkennt.

Auf Längsschnitten erscheinen die Seitenflächen der Scheitelzelle (v in Fig. 9 und 11) sehr steil aufgerichtet und wenigstens in ihren äusseren Theilen mit der Längsachse des Stengels nahezu parallel. Die gleiche aufgerichtete Lage zeigen natürlich auch die der Scheitelzelle zunächst gelegenen Segmente.

Bezüglich der in einer Segmentzelle auftretenden Theilungen liess sich nur so viel ermitteln, dass auch hier zunächst einige tangentiale, das ist der Aussenfläche parallele Wände auftreten. Ob durch eine derselben der Cambiumtheil des Segmentes abgeschnitten wird, liess sich nicht bestimmen. Diesen tangentialen Theilungen folgen nun radiale, die also auf der Aussenwand des Segmentes senkrecht stehen. Dabei sind sie den Hauptwänden entweder parallel, oder stehen auf ihnen senkrecht oder schief. Nach diesen radialen Wänden treten dann wieder tangentiale Theilungen auf, die sich nach aussen fortschreitend in unbestimmter Anzahl wiederholen. In Folge dieses Umstandes, dass nämlich die peripherischen Zellen ihre Theilungsfähigkeit noch längere Zeit behalten, wird die Epidermis erst an Stellen, die von der Vegetationsspitze ziemlich weit entfernt sind, angelegt.

In Bezug auf die Ausbildung der Rinde liess sich ebenfalls kein Theilungsgesetz ermitteln. Ein Gegensatz zwischen äusserer und innerer Rinde ist nirgends wahrzunehmen, und nur so viel ist sicher, dass auch hier die Theilungen hauptsächlich in den inneren Partieen vor sich gehen. — Die Grenze zwischen Rinde und Gefässcylinder ist, wenn auch an manchen Stellen ziemlich deutlich, meist nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Ebensowenig lässt sich die Ausscheidung des Cambiumcylinders aus den Segmenten nachweisen. Man beobachtet unter der Scheitelregion ein kleinzelliges Meristem, dessen Zellen in der mittlern Partie allmählich länger werden, sich zuspitzen und den Cambiumcylinder darstellen.

Wenn man oberirdische Triebe unmittelbar über dem Boden quer durchschneidet, so erkennt man in dem centralen Gefässcylinder drei oder mehrere ziemlich gleichmässig über den Umfang vertheilte Vasalstränge. In dem Maasse nun, als man mit den Schnitten nach unten fortfährt, rücken diese Stränge immer näher zusammen, und gehen endlich in einen einzigen centralen Vasalstrang über. Gerade denselben Uebergang mehrerer peripherischer Vasalstränge in einen einzigen centralgelegenen beobachtet man auch an den oben erwähnten unterirdischen mit kleinen Blättchen besetzten Sprossen. An jenen unterirdischen Trieben hingegen, die durch den Mangel der Blättchen mehr den Charakter von Wurzeln an sich tragen, finden wir bis zur Vegetationsspitze einen einzigen centralen Vasalstrang; ihr Bau unterscheidet sich überhaupt in nichts von demjenigen, den die blättertragenden Sprosse unter der Vereinigungsstelle ihrer Stränge zeigen.

Die ersten Gefässe treten, je nachdem sich ein einziger oder drei getrennte Vasalstränge bilden, näher oder entfernter vom Centrum auf. Von diesen Anfängen schreitet die Gefässbildung nach innen, und erreicht im ersten Falle das Centrum, so dass sich die anfänglich getrennten Gefässgruppen vereinigen. Entstehen drei getrennte Stränge, so wird ihre Lage durch die drei ersten Gefässe bezeichnet. Das erste und das zweite sind um etwas mehr als den dritten Theil der Peripherie von einander entfernt; das dritte hat ungefähr die gleiche Divergenz zum einen derselben, und ist daher dem andern genähert, von dem es um ¼—⅕ des Umfanges entfernt ist. Aehnlich verhält es sich in den Sprosstheilen, in denen sich ein centraler Vasalcylinder bildet. Diese Divergenz der Gefässe dürfte vielleicht mit derjenigen der Segmente zusammenhängen, welche, wie wir gesehen haben, ebenfalls grösser ist, als 120°.

Es ist eine an Längs- und Querschnitten der wurzelähnlichen Rhizomsprosse häufig zu beobachtende Erscheinung, dass auch in der Nähe der Scheitelzelle gewisse Zellen als Mittelpunkte von neuen Zellengruppirungen angesehen werden können. Auf der Flächenansicht des Scheitels ordnet sich das Gewebe, gleich wie um die Scheitelzelle, so noch um einige andere ebenfalls mehr oder minder deutlich dreiseitige Zellen, nach drei Seiten. Offenbar sind es eben so viele neue Scheitelpunkte und somit Anlagen für seitliche Organe. Ist aber schon der eigentliche Scheitel meist schwer zu erkennen, so sind es diese seitlichen Anlagen noch mehr. In Fig. 8 zum Beispiele lassen sich wohl einzelne Stellen so deuten, doch ohne die Garantie einiger Sicherheit. In Fig. 12 erkennt man blos zwei Scheitelzellen einigermassen deutlich (v, v); die übrigen sind unsicher.

Deutlicher treten diese Zellgruppirungen am Längsschnitte hervor; sie sind auch hier demjenigen, welcher die Scheitelzelle umgibt, ähnlich. Dass es wirklich die Anlagen seitlicher Organe sind, geht auch unzweifelhaft daraus hervor, dass einzelne derselben in einiger Entfernung vom Scheitel in der That zu jungen Aesten werden. Als solche geben sie sich dadurch zu erkennen, dass das hinter ihnen gelegene kleinzellige Gewebe sich mit dem unter der Scheitelzelle der Stammspitze befindlichen vereinigt, dass somit von dem Cambiumcylinder sich ein Ast abzweigt, welcher zur Astanlage verläuft.

Wenn man nun auf Längsschnitten von einem solchen als Astanlage sicher erkannten Zellencomplexe aus die gegen den Scheitel des Stengels hin gelegenen Randzellen untersucht, so wird man nicht selten abwechselnd mit kürzeren Zellen tiefer, oft sehr tief reichende, nach innen keilförmig zugespitzte Zellen erkennen, die sich ausserdem auch noch dadurch auszeichnen, dass ihre Seitenwände, in gleicher Weise wie die der Scheitelzelle, gegen einander concav sind. Auch um diese Zellen lässt sich, besonders wenn sie von der Scheitelzelle etwas entfernter liegen, nicht selten eine Zellengruppirung, wenn auch nur von wenigen Zellen erkennen, und es ist wohl kein Zweifel, dass wir es mit jüngeren Stadien von Anlagen seitlicher Organe zu thun haben. Auch in den unmittelbar an die Stammscheitelzelle anstossenden Segmenten sehen wir häufig eine solche nach innen keilförmig zugespitzte Zelle, die dadurch entstanden ist, dass sich die im Segmente auftretende, auf der Aussenwand senkrechte Theilungswand nicht an die innere tangentiale Wand, sondern an die grundsichtige Hauptwand des Segmentes ansetzt, und so der Scheitelzelle ihre convexe Seite zukehrt. Fig. 10

zeigt uns diess in schematischer Darstellung, die nach mehreren Präparaten ausgeführt wurde. a, b, c, d sind die hier sichtbaren succesiven Segmente neben der Scheitelzelle (v); 1 ist die erste Wand in jedem Segmente, welche die Scheitelzelle für das seitliche Organ abschneidet; 2 und 3 sind Theilungswände in dieser Scheitelzelle. In Fig. 11 ist ein Längsschnitt nach der Natur gezeichnet; a, b, c sind Anlagen für seitliche Organe.

Das Vorhandensein von Uebergangsstadien lässt kaum bezweifeln, dass einzelne dieser Anlagen dazu bestimmt sind, Aeste des Rhizoms zu bilden. Es folgt daraus, dass eine Verzweigung, oder wie Hofmeister sich ausdrückt, eine Gabelung der Endknospe nicht in der Weise entsteht, dass die Scheitelzelle in zwei gleichwerthige Hälften zerfällt, die als neue Scheitelzellen ihre Theilungen fortsetzen, sondern, dass die Verzweigung erst in den Segmenten angelegt wird. Eine wahre Dichotomie durch Theilung der Scheitelzelle, wie es Hofmeister*) angibt, wurde nie beobachtet; ist auch bei dreiseitigen Scheitelzellen höchst unwahrscheinlich, da in jedem Falle ungleiche Hälften entstehen müssten.

Es wurde schon oben erwähnt, dass die gewöhnlichen (dickern) Sprosse des Rhizoms an den unbehaarten Theilen des Vegetationskegels hie und da kleine Blättchen zeigen. Zunächst der Vegetationsspitze erscheinen dieselben als kleine Höcker, welche auf dem Längsschnitt betrachtet, die gleiche Zellengruppirung, wie die Astanlagen zeigen, nur mit dem Unterschiede, dass wir keine Abzweigung des Cambiumcylinders (in Form eines kleinzelligen Gewebes) unter sie verlaufen sehen. Auch an diesen Rhizomsprossen, die bestimmt sind, in beblätterte Stengel auszuwachsen (und das Gleiche gilt auch für die Enden der oberirdischen Stengel selbst), finden wir in den der Scheitelzelle zunächst gelegenen Segmenten die nämlichen keilförmigen Zellen, wie sie vorhin an den wurzelähnlichen Rhizomsprossen erwähnt wurden. Da andere Zellen, oder Zellengruppirungen, die sich etwa als Blattanlagen deuten liessen, nirgends zu beobachten sind, so müssen wir diese keilförmigen Zellen nicht bloss als die Mutterzellen der Aeste, sondern auch als diejenigen der Blätter betrachten. Dafür, dass sie in der That nicht blos Astanlagen sind, sondern dass aus ihnen auch Blätter gebildet werden, spricht ebenfalls noch ihre grosse Zahl, welche mit der Zahl der an ober- und unterirdischen Theilen zu beobachtenden Verzweigungen, in gar keinem Verhältnisse steht.

Es würde also scheinen, als ob zwischen Ast- und Blattanlagen kein Unterschied bestehe. Doch lässt sich diese Frage aus den vorliegenden Beobachtungen nicht entscheiden. Wir wissen nur so viel mit einiger Sicherheit, dass sie darin mit einander übereinstimmen, dass beide aus Segmenten hervorgehen, und dass im Längsschnitte gesehen, die Theilungen der Scheitelzelle in gleicher Weise zu erfolgen scheinen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass rücksichtlich der Stellung am Mutterorgan und rücksichtlich der Theilungsrichtungen bestimmte Verschiedenheiten vorkommen.

Von den mit kleinen spärlichen Blättern versehenen Verzweigungen des

---

*) l. c. p. 126.

Rhizoms können wir nun auf die blattlosen wurzelähnlichen Aeste desselben zurückschliessen. Ganz die nämlichen Anlagen seitlicher Organe und in gleicher Häufigkeit sind, wie schon erwähnt wurde, bei ihnen vorhanden. Den grösseren Theil derselben müssen wir ebenfalls als Blattanlagen in Anspruch nehmen, aber als Blattanlagen, die in ihren ersten Stadien der Entwicklung verharren und sich nicht über die Stengeloberfläche erheben.*) Wir dürfen diess um so mehr thun, als auch bei den gewöhnlichen Sprossen des Rhizoms die Mehrzahl der Blattanlagen in gleicher Weise verkümmert, und als auch die wurzelähnlichen Triebe das Vermögen besitzen, wenn sie sich der Erdoberfläche nähern, kleine Blätter zu bilden.

Wir müssen also annehmen, dass der ganze unterirdische Theil der Pflanze ein Stengelgebilde sei, und dass am Scheitel aller Sprosse ganz normal Blätter angelegt werden, und zwar in der Art, dass jedem Segment eine Blattinsertion entspricht. Während nun aber an den einen Sprossen die Blattanlagen ganz regelmässig fehlschlagen, wachsen an den andern einzelne derselben zu kleinen Blättern aus und erst dann, wenn die Triebe über die Erde kommen, gelangen sie in grösserer Anzahl zur Entwicklung. Dass aber auch an diesen oberirdischen Sprossen noch manche Anlagen abortiren, dafür spricht vielleicht der Umstand, dass sich in der Stellung der Blätter kein bestimmtes Gesetz nachweisen lässt.

Die schon am Vegetationskegel angelegten Seitensprosse treten erst in ziemlicher Entfernung von diesem über die Oberfläche des Muttersprosses hervor, von dem sie sich dann unter nahezu rechten Winkeln abzweigen. An den wurzelähnlichen Sprossen, die — wie oben erwähnt — bis dicht unter die Vegetationsspitze mit braunen Haaren bedeckt sind, lassen sich die Stellen ihrer Oberfläche, an denen sich Astanlagen gebildet haben, schon viel früher, und zwar daran erkennen, dass an ihnen die Haarbildung unterbleibt, so dass sie als gelblich glänzende kreisförmige Flecken von dem braunen Filze, mit dem sonst überall die Oberfläche bekleidet ist, sehr scharf abheben. Auch an den gewöhnlichen Sprossen, deren Vegetationskegel auf grössere Strecken unbehaart ist, erkennt man die Stellen der Sprossanlagen bis ziemlich nahe am Scheitel und zwar daran, dass sie, gegen das Licht gehalten, lebhaft spiegeln. Es ist diess eine Folge der glatteren Oberfläche, wozu noch der Umstand hinzu kommt, dass an diesen Stellen die Oberfläche des Vegetationskegels viel weniger gekrümmt ist, so dass die Sprossanlagen nahezu Kreisebenen darstellen. — Bei Beobachtung dieser Verhältnisse ergiebt sich nun auch deutlich, dass die Sprossanlagen sich nicht durchwegs in der Ordnung weiter entwickeln, in der sie angelegt werden. Man erkennt nämlich nicht selten zwischen Aesten von mehreren Mill. Länge solche glänzende unbehaarte Stellen, also in ihrer Entwickelung zurückgebliebene Astanlagen.

---

*) Wenn man die unbehaarten Spitzen der wurzelähnlichen Rhizomsprosse mit der Lupe betrachtet, so findet man hie und da über die Oberfläche zerstreut, braune Flecken, die sich besonders auch zunächst dem Scheitel finden. Bei anatomischer Untersuchung gewahrt man öfters in Mitte dieser Flecken eine dreiseitige Zelle, deren Wände jedoch sammt denen der umliegenden Zellen gebräunt erscheinen, und die den Eindruck von abgestorbenen Zellen machen. Wenn man den durch einen Querschnitt abgetrennten Scheitel eines Sprosses in verschiedenen Lagen untersucht, so ist die Scheitelregion manchmal von mehreren, wenn auch kaum bemerkbaren Erhöhungen umgeben, die ebenfalls öfters braun gefärbt erscheinen, und deren oberflächliches Gewebe abgestorben zu sein scheint. Es wäre wohl möglich, dass gerade diese Stellen den verkümmerten Blattanlagen entsprächen.

Die wurzelähnlichen Rhizomsprosse von **Psilotum** haben eine grosse Analogie mit den Wurzelträgern von **Selaginella**. Beide unterscheiden sich von den gewöhnlichen Rhizomsprossen vorzüglich durch die abwärts steigende Wachsthumsrichtung und den Mangel an äusserlich sichtbaren, auch noch so kleinen Blättern. Sie bilden eine besondere Kategorie von Stengeltheilen, für die wir den Namen **Rhizoid** vorschlagen möchten.

Erklärung der Tafeln XI—XXI.

Die nicht schematischen Figuren sind fast alle mit dem Sömmering'schen Spiegelchen gezeichnet; die in ( ) stehenden Zahlen geben die Vergrösserung an. Die Zahlen 1, 2, 3, 4 etc. geben die genetische Aufeinanderfolge der Wände an, ebenso die Zahlen I, II, III, IV etc. die genetische Folge der Segmente.

Taf. XI.

Die Figuren sind sämmtlich schematisch; sie gelten für die Wurzeln mit dreiseitiger Scheitelzelle.

Fig. 1. Ein Segment. a b c d die Aussenwand; b g c e und a h d f die beiden Hauptwände; a b e f und c d e f die beiden Seitenwände. h g p q Sextantenwand, die sich in der Segmentzelle gebildet hat. l m o n Cambiumwand, durch die sich die Sextantenzelle g h c d — p q f e getheilt hat. i k m l Cambiumwand, durch welche die Sextantenzelle a b p g h getheilt wurde.

Fig. 2. Drei aufeinander folgende Segmente (I, II, III) mit der von ihnen umschlossenen dreieckigen Scheitelzelle.

Fig. 3. Eben gelegte Oberfläche des Vegetationskegels eines Wurzelkörpers, um das Ineinandergreifen der Segmente zu zeigen. Die Winkel l n l' und m o m' öffnen sich immer mehr (l^3 n^2 l^2 und m^2 o^2 m^3) und werden zur Geraden.

Fig. 4. Längsschnitt durch den Vegetationskegel einer Wurzel. I, IV, VII, X, XIII die Segmente einer Reihe. k, l, m, n die 4 letzten Wurzelkappen — Vgl. pag. 77; 98.

Fig. 5. Längsschnitt durch den Vegetationskegel eines Stengels (oder einer Wurzel mit Weglassung der Wurzelkappen). I, IV, VII, X, XIII die Segmente einer Reihe. — Vgl. pag. 98.

Fig. 6. Längsschnitt des Vegetationskegels einer Wurzel; nach **Equisetum hiemale**. k, l, m, n, q Wurzelkappen, der Uebersichtlichkeit wegen ohne Theilungswände gezeichnet. c Cambiumwand; e Epidermiswand; r Rindenwand; 1, 2, 3 die tangentialen Wände, wie sie zwischen r und c auf einander folgen. Die radialen Wände in den Segmenten sind alle weggelassen. o Epidermis; e—r äussere Rinde; r—c innere Rinde; c—c Cambiumcylinder.

Fig, 7. Querschnitt durch die Wurzelspitze, dem untern Ende von Fig. 6 entsprechend. h die Hauptwände, die im Centrum zusammenstossen; s die Sextantenwände; c die Cambiumwände; e die Epidermiswände; r die Rindenwände. Diese Wände entstanden in folgender Ordnung: h, s, c, e, r, 1, 2, 3. — o Epidermis; e—r äussere Rinde; r—c innere Rinde; e—c Cambiumcylinder.

Taf. XII. Equisetum hiemale.

Fig. 1 (300). Querschnitt durch die Wurzelhaube zunächst der Scheitelzelle. Der rundliche Raum im Innern mit den Wänden 1, 2, 3, 4 ist die jüngste Kappe von der Fläche gesehen. Die concentrischen Zellenringe, welche jenen Raum umgeben, sind ältere Kappen im Durchschnitt. w verdickte Zellwand.

Fig. 2 (250). Ein ähnlicher, jedoch von der Scheitelzelle weiter entfernter Schnitt. m, m die 4 centralen Zellen der jüngsten Kappe. w verdickte Zellwände.

Fig. 3, 4, 5 (300). Junge Kappen von der Fläche, d. h. im Querschnitt der Wurzel gesehen; Fig. 5 ist schematisirt. Die Wände sind nach der genetischen Reihenfolge mit 1, 2, 3, 4, 5 bezeichnet.

Fig. 6 (250). Querschnitt durch die Wurzelhaube zunächst der Scheitelzelle, welche man tiefer liegend sieht (sie ist punktirt gezeichnet). Die jüngste Kappe mit den Wänden 1, 2, 3, 4 erblickt man von der Fläche, die älteren Kappen als Ringe im Durchschnitt.

Fig. 7 A (250), B schematisch. Scheitelzelle mit den umgebenden Segmenten I, II, III, IV, V im Querschnitt der Wurzel. 1—1, 2—2, 3, 4, 5 die auf einander folgenden Theilungswände der Scheitelzelle. 1' und 2' die auf einander folgenden radial-verticalen Wände in einem Segment.

Fig. 8 (300). Querschnitt durch den Wurzelkörper zunächst der Scheitelzelle. I, II, III die drei aufeinander folgenden Segmente; h die Hauptwände zwischen denselben; s die Sextantenwände; c die Cambiumwände.

Fig. 9 (250). Medianer Längsschnitt durch die Vegetationsspitze. k—k, l—l, m—m die drei jüngsten Kappen der Wurzelhaube; l—l ist zweischichtig; m—m rechts und links zweischichtig, in der Mitte mehrschichtig; v Scheitelzelle; c Cambiumwand; e Epidermiswand; r Rindenwand; o Oberhaut; e—c Rinde; e—r äussere, c—r innere Rinde; c—c Cambiumcylinder.

Fig. 10 (250). Medianer Längsschnitt durch die Vegetationsspitze. k—k, l—l, m—m die drei jüngsten Wurzelkappen; l—l ist rechts zweischichtig, links einschichtig. v Scheitelzelle; I, III, IV, VI Segmente.

Taf. XIII. Equisetum hiemale.

Fig. 1 (250). Querschnitt durch den Cambiumcylinder und die ihn zunächst umgebenden Rindenzellen, dicht unter der Scheitelzelle. z innere Rinde. h'—h die gebrochenen Hauptwände; s'—s die gebrochenen Sextantenwände (h' und s' in der Rinde, h und s im Cambiumcylinder).

Fig. 2 (250). Medianer Längsschnitt durch eine Wurzelspitze. Bei der Bezeichnung der Segmente ist eine linksläufige Spirale vorausgesetzt. k—k, l—l, m—m, q—q die 4 jüngsten Kappen der Wurzelhaube. l—l ist noch überall zweischichtig; m—m rechts und links zweischichtig, in der Mitte mehrschichtig. v Scheitelzelle. c Cambiumwand; e Epidermiswand. o Epidermis; e—c Rinde; c—c Cambiumcylinder.

Fig. 3 (250). Querschnitt durch einen ausgewachsenen Wurzeltheil. o Epidermis; y äussere Rinde (zweischichtig); z innere Rinde (dreischichtig); u Luftgänge; g Gefässe (3 peripherische und 1 centrales).

Fig. 4, 5 (250). Querschnitte durch jüngere und dünnere Wurzeln. q Wurzelhaube; o Epidermis, y äussere Rinde (in Fig. 5 stellenweise ein- und stellenweise zweischichtig); z innere Rinde; c—c Cambiumcylinder.

Fig. 6 (250). Medianer Längsschnitt durch die Vegetationsspitze. k und l—l die zwei jüngsten Kappen der Wurzelhaube, letztere beiderseits zweischichtig, in der Mitte dreischichtig. v Scheitelzelle. c Cambiumwand; e Epidermiswand; r Rindenwand.

Fig. 7, 8, 9. A mit dem Sömmering'schen Spiegelchen gezeichnet (300), B die Theilungsschemen dazu; die sich entsprechenden Wände in A und B sind parallel gestellt. h'—h die gebrochenen Hauptwände, h' in der Rinde, h im Cambiumcylinder; s'—s die gebrochenen Sextantenwände, s' in der Rinde, s im Cambiumcylinder; die im Cambiumcylinder folgenden Wände sind nach ihrer Succession mit 3, 4, 5 bezeichnet; die Wände 4' befinden sich in den kleineren Sextanten.

Fig. 10 A (250). Querschnitt durch eine noch im Gewebe der Mutterwurzel befindliche Tochterwurzel. m Rindenzellen der Mutterwurzel; der Pfeil gibt die Achsenrichtung der Mutterwurzel an; er ist mit der Spitze scheitelwärts gekehrt. — o Epidermiszellen; y äussere Rinde, stellenweise ein- unb stellenweise zweischichtig; z innere Rinde (dreischichtig).

Fig. 10 B. Theilungsschema des Cambiumcylinders von Fig. 10 A. g Gefässe; h Hauptwände; s Sextantenwände; 3 erste Wand in den Sextanten; in zwei grösseren Sextanten ist dieselbe ausnahmsweise schief, statt tangential, gestellt (3').

Taf. XIV.

Fig 1 (250). Asplenium Filix femina. Scheitelregion im Querschnitt der Wurzelspitze. v Scheitelzelle mit einem grossen Zellenkern. I—I, II—II, III—III, IV, V, VI, VII—VII, VIII die acht letzten Segmente.

Fig. 2 (300). Pteris aquilina. Scheitelregion im Querschnitt der Wurzelspitze. v Scheitelzelle; I, II—II, III, IV, V, VI die sechs letzten Segmente.

Fig. 3—10. Pteris hastata Sw.

Fig. 3 (250). Vollständige junge Kappe von der Fläche, d. h. im Querschnitt der Wurzelspitze. 1—1 die erste, 2—2 die zweiten, 3—3 die dritten, 4, 4 die vierten Wände.

Fig. 4 (250). Scheitelzelle (v) mit den umliegenden Segmenten (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII), im Querschnitt der Wurzelspitze gesehen.

Fig. 5 (250). Derselbe Schnitt bei tieferer Einstellung. h die drei Hauptwände, die sich im Centrum berühren und die Segmentreihen trennen. Man sieht von den drei inneren Segmenten, welche mit ihren Hauptwänden horizontal liegen, nur den inneren (cambialen) Theil, mit den Sextantenwänden (s) und mit tangentialer Theilung (t) in zwei Sextanten, welche das eigentliche Cambium und das Pericambium scheidet. Die umgebenden Segmente stehen schief aufrecht; man erblickt dieselben wie in Fig. 4 vorzugsweise in einer mit ihrer Aussenwand parallelen Ebene.

Fig. 6 (250). Noch tiefere Einstellung desselben Schnittes; es ist nur der Cambiumcylinder gezeichnet, mit den Haupt- und Sextantenwänden (h und s) und mit den tangentialen Wänden (t), welche das Pericambium abschneiden.

Fig. 7 (250). Medianer Längsschnitt durch die Vegetationsspitze. k—k, l—l, m—m, n—n vier einschichtige Kappen der Wurzelhaube. v Scheitelzelle; I, II, IV, V, VII, VIII, X, XI, XIII die aufeinander folgenden Segmente zweier Reihen. e Epidermiswand, c—c Cambiumwand. o Epidermis; e - c Rinde; c - c Cambiumcylinder.

Fig. 8 (250). Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil; die drei Hauptwände (h) sind etwas stärker gezeichnet. q Rest der Wurzelhaube; o Epidermis; x Rinde; p Pericambium (zweischichtig).

Fig. 9 (300). Späteres Stadium eines solchen Querschnittes; p Pericambium; o Epidermis.

Fig. 10 (250). Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil, in welchem eben die Verholzung der Gefässe ihren Anfang genommen hat. o Epidermis; i innerste Rindenschichte; p Pericambium, zweischichtig, bei p' einschichtig.

Taf. XV.

Fig. 1 (250). Platycerium alcicorne. Längsschnitt durch die Vegetationsspitze einer Wurzel. k, l, m die drei jüngsten Wurzelkappen. c Cambiumwand. v Scheitelzelle;

o Epidermis; e—c Rinde. I, III, IV, V, VII, VIII die successiven Segmente zweier Reihen.

Fig. 1 B. Theilungsschema für den gleichen Längsschnitt, wobei nur die in der Scheitelzelle gebildeten Wände gezeichnet wurden. Diese Wände sind nach ihrer genetischen Folge numerirt; 1, 5, 9 liegen auf der abgekehrten Seite und sind desswegen unsichtbar. Zwischen der Entstehungszeit der zwei Wurzelhaubenwände 4 und 8 wurden drei schiefe Wände (nämlich 5, 6 und 7), zwischen 8 und 11 nur zwei (nämlich 9 und 10) gebildet

Fig. 2 (250). Polypodium dimorphum. Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil, mit beginnender Verholzung der Gefässe und der innern Rindenzellen. o Epidermiszellen, manche sind in Wurzelhaare ausgewachsen. y—y äussere Rinde. z innere Rinde; i innerste Schichte derselben mit nicht verdickten Wandungen. p Pericambium. a innerste Rindenzelle vor dem Gefäss liegend; die Zellen ausserhalb bleiben dünnwandig.

Fig. 3 (300). Medianer Längsschnitt durch eine Wurzelspitze derselben Pflanze. k, l, m, n die vier jüngsten Kappen der Wurzelhaube. v Scheitelzelle. IV—IV, V, VII, VIII Segmente. c Cambiumwand; e Epidermiswand; r Rindenwand; f Wand, welche die Epidermis in zwei Schichten theilt. o Epidermis; q innere Epidermis; e—c Rinde; c—c Cambiumcylinder; p Pericambium.

Fig 3 B. Theilungsschema für den gleichen Längsschnitt, wobei nur die in der Scheitelzelle gebildeten Wände gezeichnet wurden. Dieselben sind nach ihrer Entstehungsfolge numerirt; die Wände 2, 6, 10 liegen auf der abgekehrten Seite. Zwischen den Quertheilungen 4 und 8 fanden drei schiefe (5, 6, 7), zwischen den Quertheilungen 8 und 11 nur zwei schiefe Theilungen (9, 10) statt.

Fig. 4—7. Blechnum occidentale.

Fig. 4 (250). Querschnitt durch die Scheitelregion einer Wurzel. v Scheitelzelle. I, II, III, IV, V, VI, VII Segmente.

Fig. 5 (250). Derselbe Schnitt bei tieferer Einstellung; es wurde blos der Cambiumcylinder gezeichnet. h Hauptwände; s Sextantenwände; t tangentiale Wände, welche das eigentliche Cambium und das Pericambium trennen.

Fig. 6 (250). Querschnitt durch den Wurzelkörper nahe der Scheitelzelle. Die Hauptwände (h) sind stärker gezeichnet; s Sextantenwände; c Cambiumwände. o Epidermis; w Wurzelhaube; p Pericambium (noch einschichtig).

Fig. 6 B. Theilungsschema für den Cambiumcylinder des gleichen Querschnittes. Bezeichnung die nämliche. Die Wände in den primären Pericambiumzellen (p) sind weggelassen; die Wände im eigentlichen Cambium sind nach ihrer Entstehungsfolge numerirt, indem mit 3 diejenige bezeichnet ist, welche das eigentliche Cambium vom Pericambium scheidet.

Fig. 7 (300). Medianer Längsschnitt durch eine Wurzelspitze. k, l, m, n, o Kappen der Wurzelhaube v Scheitelzelle. c—c Cambiumwand; e—e Epidermiswand; f Wand, welche die primäre Epidermis in äussere und innere Epidermis scheidet; t Wand, welche die primäre Cambiumzelle in eigentliches Cambium und Pericambium trennt. o Epidermis (äussere); q innere Epidermis; e—c Rinde; p Pericambium, zweischichtig I, III, IV. VI, VII, IX Segmente zweier Reihen.

Taf. XVI.

Fig 1 (100). Aspidium Serra. Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil mit der Anlage einer Tochterwurzel. i innerste Rindenschicht; p Pericambium, welches in einer einfachen Schicht die junge Wurzel von dem Cambiumcylinder mit dem ersten Gefäss der Mutterwurzel trennt. II und III das zweite und dritte Segment der Wurzelanlage, jedes in dieser Ansicht dreizellig; v die Scheitelzelle derselben; k die erste Wurzelkappe.

Fig. 2 (250). Pteris serrulata. Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil mit der

Anlage einer Tochterwurzel. i innerste Rindenschicht; p Pericambium; dasselbe trennt als einfache Zellschicht den Cambiumcylinder von der Anlage. II und III das zweite und dritte Segment der Wurzelanlage, jenes zweizellig, dieses noch einzellig; v die Scheitelzelle derselben; k die erste Wurzelkappe.

Fig. 3 (300). Adiantum Capillus. Von einem tangentialen Längsschnitt eines jungen Wurzeltheils ist nur eine der innersten Rindenschichte angehörende Zellenreihe dargestellt. a—b eine ursprüngliche Zelle dieser Reihe, die sich durch die Wände c und d getheilt hat. d—c primäre Zelle der Wurzelanlage. 1, 2, 3, 4 die successiven schiefen Wände in derselben. I (vierzellig), II (zweizellig), III (zweizellig), IV (einzellig) die vier ersten Segmente. v Scheitelzelle. Der Pfeil gibt die akropetale Richtung der Achse der Mutterwurzel an.

Fig. 4 (250). Pteris arguta. Radialer Längsschnitt durch einen jungen Wurzeltheil, mit einer Wurzelanlage, die man ebenfalls im (optischen) Längsschnitt sieht. c Cambium; g Gefäss; p Pericambium (einschichtig); z innere Rinde; i innerste Schicht derselben. I und II die beiden ersten noch einzelligen Segmente der Wurzelanlage; v Scheitelzelle derselben. Der Pfeil gibt die akropetale Achsenrichtung der Mutterwurzel an.

Fig. 5, 7—12. Marsilia aegyptiaca. Fig. 6. M. quadrifolia.

Fig. 5 (150). Von einem tangentialen Längsschnitt, der ½ M. M. vom Scheitelpunkte der Mutterwurzel entfernt geführt wurde, ist nur eine Zellenreihe, welche der innersten Rindenschicht angehört, gezeichnet. Man sieht sie von der innern Seite. a und b noch einzellige Wurzelanlagen, die erstere nur wenig grösser als die anliegenden Zellen. d zweizellige Anlage; die grundsichtige Zelle ist das erste Segment, die scheitelsichtige die Scheitelzelle der Anlage. e und f zwei Anlagen, von denen man die drei ersten Segmente (I, II, III) sieht; jedes ist durch die Sextantenwand getheilt. h Hauptwände, s Sextantenwände, c Cambiumwände in den drei ersten Segmenten (I, II, III) der zwei nächst ältern Anlagen.

Fig. 6 (250). Querschnitt durch eine Wurzel, 1 M.M. vom Scheitel entfernt, mit einer Wurzelanlage, die man im Längsschnitt sieht. z innere Rinde; i innerste Schicht derselben; p Pericambium. II und III das zweite und dritte Segment der Wurzelanlage; v die Scheitelzelle derselben; k die erste Wurzelkappe.

Fig. 7 (250). Radialer Längsschnitt durch einen jungen Wurzeltheil mit einer Wurzelanlage, die man ebenfalls im Längsschnitt sieht. z innere Rinde; i innerste Schicht derselben. I, II (beide dreizellig) und IV (einzellig) Segmente der Wurzelanlage; v Scheitelzelle derselben; k—k die erste (zweizellige) Wurzelkappe. Der Pfeil gibt die akropetale Achsenrichtung der Mutterwurzel an.

Fig. 8, 9 (250). Querschnitte durch junge Wurzelhauben. Die numerirten Wände gehören der jüngsten Kappe an; die diesen Raum umgebenden Zellenringe sind die durchschnittenen älteren Kappen. 1—1 die erste Wand, 2, 3, 4 die folgenden Wände.

Fig. 10 (250). Querschnitt durch einen jungen Wurzeltheil. o Epidermis; y äussere Rinde (einschichtig); z innere Rinde; i innerste Schichte derselben; u grosse Luftgänge, welche zwischen den aus der äussersten Schicht der innern Rinde hervorgegangenen radialen Zellenreihen liegen.

Fig. 11 (250). Querschnitt durch eine Wurzel zweiter Ordnung. o Epidermis; y äussere Rinde (einschichtig); z äussere Schicht der innern Rinde; i innere Schicht derselben.

Fig. 12 (250). Querschnitt durch eine Wurzel erster Ordnung, in welcher die innern Gefässe noch dünnwandig sind. Epidermis, äussere Rinde und die äusseren Schichten der innern Rinde sind nicht gezeichnet. a, a zwei grössere Zellen der innersten Rindenschichte. p Pericambium. b, b die beiden Baststränge; innerhalb a und a liegen die beiden primordialen Gefässgruppen.

Fig. 13 A (400). Pilularia minuta. Querschnitt durch den (sechszelligen) Cambiumcylinder der Wurzel. i—i innerste Schicht der innern Rinde. — B. Theilungsschema für den Cambiumcylinder. h Hauptwände; s Sextantenwände; c Cambiumwände; c' Cambiumwand in dem Segment, in welchem die Sextantenwand ausgeblieben ist.

Fig. 14, A (400). Querschnitt durch den jungen Gefässcylinder einer Wurzel derselben Pflanze. g, g zwei Gefässe. — B. Theilungsschema. h Hauptwände; s Sextantenwände. Zwei Sextanten (g, g) haben sich in Gefässe umgebildet, der dritte (g') nicht.

Taf. XVII. Lycopodium clavatum.

Fig. 1. Schematische Horizontalprojektion eines monopodialen Verzweigungssystems mit opponirten Strahlen. Der Hauptstrahl ist mit I bezeichnet. Die an ihm entspringenden Aeste oder Strahlen zweiter Ordnung, die den Zeiger II haben, folgen vom Grunde gegen die Spitze so aufeinander: 1II, 2II, 3II, 4II; 2II' bildet mit 2II, ferner 3II' mit 3II und ebenso 4II' mit 4II je ein Paar, wobei II' aber immer etwas näher dem Scheitel inserirt ist, als II. Die Strahlen zweiter Ordnung tragen in gleicher Weise diejenigen der dritten Ordnung III, wobei ebenfalls 1III und 1III' das unterste Paar mit ungleich hoher Insertion, 2III und 2III dagegen das zweite Paar mit gleich hoher Insertion der beiden Elemente darstellen.

Fig. 2. Schematische Horizontalprojektion eines andern Verzweigungssystemes mit gabeligen Enden. 1II und 1II stehen seitlich an I in gleicher Hohe. I endigt in die beiden Gabeläste 2II und 2II, und die beiden Seitenäste 1II endigen jeder in die Gabelzweige 1III und 1III.

Fig. 3. Querschnitt durch die Spitze einer zwei Centimeter langen Wurzel erster Ordnung mit den noch im Gewebe eingeschlossenen Verzweigungsanlagen (vgl. pag. 118).

Fig. 4. Schematische Horizontalprojektion eines monopodialen Verzweigungssystems mit einzeln stehenden Seitenstrahlen, die vom Grunde nach dem Scheitel wie die Ziffern 1 . . . 6 aufeinander folgen

Fig. 5 (400). Querschnitt durch die Wurzelspitze in der Scheitelregion. v die muthmassliche Scheitelzelle.

Fig. 6 (400). Ebenso.

Fig. 7 (250). Querschnitt durch eine Wurzel zunächst ihrer Spitze w aufquellende und sich ablösende Zellen der Wurzelhaube. o Epidermis. y äussere Rinde.

Fig. 8 (300). Epidermiszellen zunächst der Wurzelspitze auf dem radialen Längsschnitt gesehen p Zellen, aus denen die Wurzelhaare entstehen.

Fig. 9 (300). Epidermiszellen, wenig weiter vom Scheitel entfernt als Fig. 8, von der Oberfläche gesehen. Die Zellen p haben sich in 2 oder 3 Zellen getheilt und werden somit 2 oder 3 Haare tragen.

Fig. 10. Schematische Darstellung des Verlaufes der primordialen Vasal- (Blattspur-) Stränge auf der eben gelegten Stengeloberfläche, um ihre Verbindung mit den Primordialsträngen der Wurzel zu zeigen; — nach successiven Querschnitten ausgeführt. 1 . . . . . 43 die Abgangsstellen der Gefässstränge für die successiven Blätter; die Blätter 23 und 30 fehlen. a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l die Primordialstränge des Stengels scheitelwärts von der Insertion der Wurzel; de, f, g, h grundwärts von derselben; m, n, o, p, q, r, s, t Abgangsstellen der Primordialstränge der Wurzel.

Fig. 11 (250) Querschnitt durch eine dünne Wurzel. o Epidermis; h Wurzelhaar; y äussere Rinde, einschichtig.

Fig. 12 (400). Längsschnitt durch die Spitze einer dünnen Wurzel. v Scheitelzelle. o Epidermis.

Fig. 13 (250). Querschnitt durch den noch unausgebildeten Gefässcylinder einer dickern Wurzel, in welchem erst die primordialen Vasalstränge (g) und die primordialen Baststränge (b) sichtbar sind; h die noch zartwandigen porösen Gefässe.

Taf. XVIII. Selaginella.

Fig. 1—4, 6—9. S. Kraussiana (Kunze) A. Br. (S. hortensis Mett.) — Fig. 5, 10 11. S. Martensii Spr. — Fig. 12. S. cuspidata Link.

Fig. 1 (250). Randpartie eines Längsschnittes durch das kopfförmige Ende eines noch ganz jungen Wurzelträgers.

Fig. 2 (300). Randpartie eines Querschnittes durch die Stengelspitze mit einer längsdurchschnittenen Anlage eines Wurzelträgers. v Scheitelzelle des letztern, s jüngstes, t zweitjüngstes Segment.

Fig. 3 (250). Querschnitt durch einen Wurzelträger unmittelbar hinter der Gabelung; es sind nur die noch nicht vereinigten Gefässcylinder der beiden Gabeläste gezeichnet. g die primordialen engen Gefässe; h weite poröse Gefässe.

Fig. 4 (250). Ein gleicher Schnitt mit gleicher Bezeichnung, etwas weiter von der Gabelungsstelle; die beiden Gefässgruppen sind etwas näher beisammen.

Fig. 5 (250). Längsschnitt durch einen Zellhöcker auf einem Wurzelträger, der quer durchschnitten wurde. o Oberhaut des Wurzelträgers.

Fig. 6 (250). Querschnitt durch einen alten, stark verholzten Wurzelträger. h die weiten porösen Gefässe, welche die engen primordialen Gefässe umgeben. i innerste Rindenschicht.

Fig. 7. Querschnitt durch das kopfförmige Ende eines 12 Mill. langen Wurzelträgers mit 5 Wurzelanlagen.

Fig. 8. Ein ganz junger kopfförmiger Wurzelträger, mit 3 Wurzelanlagen (r, s); A in der Längsansicht, B in der Queransicht.

Fig. 9 (250). Querschnitt durch eine junge Wurzel, in welcher die Verholzung der Gefässe eben begonnen hat. g die engen primordialen, k die noch zartwandigen weiten porösen Gefässe. i innerste Rindenschicht.

Fig. 10. Längsschnitt durch einen Stengel senkrecht auf die Verzweigungsebene. a der eine Gefässstrang; derselbe theilt sich an der Verzweigungsstelle in zwei Stränge b und c. d der gemeinsame Strang der beiden Wurzelträger; der eine Schenkel desselben (e) geht in den entwickelten Wurzelträger (E) der Unterseite, der andere (f) zu dem unentwickelten Wurzelträger (F) der Oberseite des Stengels.

Fig. 11. Längsschnitt durch einen Stengel, parallel der Verzweigungsebene; Bezeichnung wie in vorhergehender Figur. g der zweite Gefässstrang des Stengels unter der Verzweigung; h, i die beiden Stränge, in welche sich b spaltet.

Fig. 12 (250). Querschnitt durch eine ausgebildete Wurzel. o die in lange Haare ausgewachsenen Epidermiszellen; n die äusserste Rindenschichte; i die innersten dünnwandig bleibenden Rindenschichten.

Taf. XIX. Isoëtes lacustris.

Fig. 1. Querschnitt durch die Spitze einer 1 Mill. langen Wurzel. I, I die beiden Gabelzweige erster Ordnung; II und III die Anlagen für diejenigen der zweiten und dritten Ordnung.

Fig. 2 (250). Querschnitt durch einen noch jungen Gabelzweig vierter Ordnung nahe seiner Spitze. o Epidermis; h Hauptwand, welche die beiden Segmente trennt.

In dieser, wie in den vier folgenden Figuren sind die Zellen der innern Rinde schraffirt, und diejenigen derselben, welche ihrer schwächeren Hälfte angehören, durch × bezeichnet.

Fig. 3, 4, 5 (250). Drei Querschnitte durch den nämlichen Gabelzweig der letzten Ordnung; Fig. 3 zunächst der Spitze mit noch ungetheiltem (einzelligem) Cambiumcylinder, Fig. 5 dicht hinter 3 und dicht vor Fig. 4. — o Epidermis; w Wurzelhaube; h Hauptwand. — In Fig. 4 ist der durch das Auseinanderweichen der Zellen der innern Rinde sich bildende Luftraum sichtbar.

Fig. 6 (250). Querschnitt durch das Ende eines jungen Gabelzweiges niederer Ordnung; von der äusseren Rinde ist nur der innere Theil dargestellt. h Hauptwand.

Fig. 7. Schematische Darstellung der ersten Theilungen auf dem Querschnitt des Wurzelkörpers, unter Annahme einer zweischneidigen Scheitelzelle. h—h die Begrenzungswand der beiden Segmente; 1, 1 die beiden ersten Wände in jedem Segment; 2 die

Wand im mittleren Theile des grösseren Segmentes, wodurch die Anlage des Cambiumcylinders c gebildet wird.

Fig. 8, 9, 10. Querschnitte durch eine ausgewachsene Wurzel nahe der Gabelung; u Luftlücke, durch Zerreissen der innern Rinde entstanden; g Gefässcylinder. Fig. 8 unmittelbar bevor die beiden Gabelzweige sich trennen Fig. 9 etwas weiter grundwärts; die beiden Luftlücken haben sich vereinigt. Fig. 10 noch weiter grundwärts; auch die beiden Gefässcylinder sind verschmolzen, aber die Vasalstränge sind noch getrennt.

Fig. 11 (250). Längsschnitt durch eine äusserlich noch ungegabelte Wurzel, parallel mit der Theilungsebene der Wurzelanlagen zweiter Ordnung (Fig. 1, II) geführt. c—c^1 Cambiumcylinder der linken Seite; o Epidermis; w Wurzelhaube; y äussere Rinde; z innere Rinde. a–a die zweite Wurzelkappe von aussen, in der Scheitelregion zweischichtig. Die innern Kappen, die Epidermis und die äussere Rinde lassen sich nicht deutlich abgrenzen.

Fig. 12 (25). Längsschnitt wie der vorhergehende mit gleicher Bezeichnung. Die Zellen der innerhalb a–a gelegenen Wurzelkappe sind durch ×, die Zellen der in der Scheitelregion einschichtigen äusseren Rinde durch o bezeichnet.

Fig. 13—17. Theilungsschemen des Cambiumcylinders im Querschnitt gesehen; 1, 2, 3, 4 die aufeinander folgenden Wände.

Taf. XX.

Fig. 1—5. Wurzeln von Pontederia crassipes *Mart.*

Fig. 1 (250). Querschnitt durch eine Wurzel nahe der Spitze. o Epidermis; y äussere Rinde; z innere Rinde; i innerste Schicht der letztern; p—p Pericambiumzellen; d, q, q, e Pericambiumzellen, die zur Wurzelanlage werden; c Cambium.

Fig. 2 und 3 (250). Querschnitte durch wenig ältere Wurzeltheile. z innere Rinde; i innerste Schichte derselben; die die Wurzelanlage bedeckenden Zellen dieser Schichte sind durch × bezeichnet; p Pericambium; h die noch zartwandigen weiten porösen Gefässe; v die Scheitelzelle der Wurzelanlage.

Fig. 4 (300). Längsschnitt durch die Wurzelhaube (w—w^1—w) einer jungen noch im Rindengewebe eingeschlossenen Nebenwurzel; i die innerste Rindenschicht, aus der sie entstanden ist.

Fig. 5 (250). Längsschnitt durch eine junge Wurzel, deren Spitze die Epidermis der Mutterwurzel noch nicht durchbrochen hat. w—w^1 Wurzelhaube. o Epidermis der Wurzel; u Luftgang zwischen der äussern und der innern Rinde.

Fig. 6—13. Oryza sativa *Lin.*

Fig. 6 (250). Querschnitt durch eine Wurzel mit der ersten Anlage für eine Nebenwurzel. z innere Rinde; i innerste Schichte derselben; n, m, m, n die Zellen dieser innersten Schichte, welche die Anlage des Wurzelkörpers e–e umgeben und bedecken. p—p Pericambiumring; demselben gehören die Zellen e—e und die daran anstossenden primordialen Gefässe an.

Fig. 7 (250). Wie Fig. 6 mit gleicher Bezeichnung. Die Wurzelanlage, deren innerste Zellen durch e, q, e bezeichnet sind, ist etwas weiter entwickelt. m die Zellen (hier aus einer einzigen Rindenzelle entstanden), aus denen die Wurzelhaube entsteht. n—n die Zellen, aus denen die basilare Scheide sich bildet. g die primordialen Gefässe.

Fig. 8 (250). Wie Fig. 6 und 7 mit gleicher Bezeichnung.

Fig. 9 (250). Längsschnitt durch eine Wurzelanlage (im Querschnitt der Mutterwurzel gesehen), wenig weiter entwickelt als Fig. 7, — ohne die umgebenden Rinden- und Cambiumzellen gezeichnet. e, q, e die drei innersten Zellen des Wurzelkörpers. k die aus der Endzelle der mittleren Reihe abgeschnittene primäre Kappenzelle. m—m Wurzelhaube. n basilare Scheide.

Fig. 10 (250). Scheitel einer etwas grösseren Wurzelanlage. m—m Wurzelhaube, aus der Rinde entstanden; k—k Kappe, aus der Scheitelzelle entstanden. q centraler

Strang (Cambiumcylinder), dessen Zellen wegen Undeutlichkeit der Anordnung nicht gezeichnet wurden.

Fig. 11 (250). Längsschnitt durch eine noch weiter entwickelte Wurzelanlage (im Querschnitt durch die Mutterwurzel). z—i innere Rinde; i die innersten Zellen derselben. p Pericambium. n die basiläre Scheide. m—m die aus der Rinde entstandene Wurzelhaube; k—k die aus der Scheitelzelle des Wurzelkörpers entstandene Kappe.

Fig. 12 (300). Querschnitt durch den Grund einer noch ganz jungen, im Rindengewebe versteckten Wurzel (im tangentialen Längsschnitt der Mutterwurzel gesehen). n die basiläre Scheide; q—q Cambiumcylinder. B und C zwei Cambiumcylinder von andern Wurzelanlagen, wo die Succession der Wände (1—1, 2—2, 3) noch ganz deutlich ist.

Fig. 13 (300). Querschnitt durch den Grund einer Wurzelanlage (im tangentialen Längsschnitt der Mutterwurzel) von aussen gesehen, — analog der in Fig. 9 im Längsschnitt dargestellten Anlage. — A tiefere Einstellung; man sieht die Pericambiumzellen der Mutterwurzel (p) und die innersten Zellen der Wurzelanlage (a, b, c, d, e, f, g, — die nämlichen, wie e, q, e in Fig. 9). — B höhere Einstellung. n die basiläre Scheide (= n in Fig. 9). a, b, c, d, e, f, g die nämlichen radialen Zellenreihen wie in A.

Taf. XXI.

Fig. 1 (300). Querschnitt durch den Grund einer noch ganz jungen, im Rindengewebe versteckten Wurzel von Oryza sativa, wie Taf. XX Fig. 12. n basiläre Scheide. q—q Cambiumcylinder; derselbe war ursprünglich zweizellig. e entsprechend den Zellen e in Fig. 9 auf Taf. XX.

Fig. 2—5 (250). Querschnitte durch Wurzeln von Lysimachia thyrsiflora mit Wurzelanlagen. i innerste Schichte der innern Rinde; in Fig. 2 sind alle Zellen derselben mit × bezeichnet; m und n die Zellen dieser Schicht, welche die Wurzelanlagen bedecken. q und e die Wurzelanlagen, sie liegen genau vor den primordialen Gefässen (g) und reichen bis zu den innersten Rindenzellen (m und n).

Fig. 6 (250). Wurzelhaube über einer Wurzelanlage, von der Fläche gesehen (im tangentialen Längsschnitt der Mutterwurzel). m, n, m drei Längsreihen von innersten Rindenzellen; aus jeder Reihe hat sich eine Zelle durch Querwände (g und g') und Längswände (h) getheilt; vgl. pag. 144.

Fig. 7 (250). Querschnitt durch die Wurzel von Limnanthemum geminatum Griseb. nahe der Spitze. Die Epidermiszellen sind durch × und — bezeichnet, durch — diejenigen, welche sich vor Kurzem durch eine tangentiale Wand getheilt haben, um die Wurzelhaube vergrössern zu helfen. Innerhalb der Epidermis unterscheidet man die äussere und die innere Rinde, letztere durch die radial geordneten Zellen mit den luftführenden Intercellularräumen kenntlich; innerhalb der innern Rinde den Cambiumcylinder.

Fig. 8—12. Psilotum triquetrum.

Fig. 8 (250). Oberflächenansicht des Scheitels eines Rhizoides; Fig. 8 B schematische Darstellung der Theilungen in den Scheitelzellen. Die Bezeichnung in beiden Figuren ist dieselbe. 1—1, 2—2, 3—3, 4—4, 5—5, 6, 7 und 8 sind die 8 letzten schiefen Theilungswände der Scheitelzellen. Man sieht 5 vollständige Segmente, nämlich 2—3—4—4, 3—4—5—5, 4—5—6, 5—7 und das letzte ausserhalb 8.

Fig. 9 (250). Längsschnitt durch das Ende eines Rhizoids; v Scheitelzelle; I, III, IV, VI die letzten Segmente.

Fig. 10. Schematisirte Darstellung eines Längsschnittes wie Fig. 11, nach einem besonders günstigen Präparate. a, b, c, d die jüngsten Segmente; 1, 2, 3 die schiefen Wände in diesen Segmenten zur Bildung von Blattanlagen.

Fig. 11 (250). Längsschnitt durch das Ende eines Rhizoids; v Scheitelzelle desselben; a, b, c die Scheitelzellen der Blattanlagen.

Fig. 12 (250). Oberflächenansicht des Scheitels eines Rhizoids; v, v zwei Scheitelzellen; die eine gehört dem Rhizoid, die andere einer Blatt- oder Astanlage an.

Untersuchungen über den Flechtenthallus

von

Dr. S. Schwendener.

II. Laub- und Gallertflechten (Taf. XXII u. XXIII).

[Schluss.]*)

Raccoblennaceae.

Mit diesem Namen bezeichne ich hier, abweichend von der in der Einleitung gegebenen Zusammenstellung, eine Gruppe von Flechten, welche die Gattungen Raccoblenna, Lecothecium, Micaraea, Pterygium (?) und Porocyphus, dessgleichen das strauchartige Genus Lichina umfasst. Ich glaubte diese Flechten früher den Pannarien anreihen zu müssen, weil sie in der That manche Merkmale mit diesen letzteren, namentlich mit P. triptophylla und den verwandten Arten gemein haben. Neuere Untersuchungen haben mir indess gezeigt, dass die Gonidien der Pannarien mit Rücksicht auf Theilungsweise und Gruppirung (es versteht sich im unveränderten Zustande) merklich von denjenigen der oben erwähnten Gattungen differiren, indem eine eigentliche Kettenbildung als Wachsthumsprozess (und nicht etwa durch theilweise Trennung bei Anwendung von Reagentien) bei den Pannarien nicht vorkommt, dagegen bei den Raccoblenna-artigen Flechten charakteristisch ist. Auch die Veränderungen der Form und des

---

*) Das Manuscript zu folgender Arbeit war ursprünglich für das dritte Heft dieser „Beiträge" bestimmt. Ich habe dasselbe — obschon es nach dem Erscheinen der „Morphologie und Physiologie der Pilze und Flechten" von A. de Bary hie und da eine kleine Kürzung vertragen hätte — im Ganzen unverändert gelassen und nur in Betreff der genetischen Beziehungen zwischen Fasern und Gonidien einige Stellen hinzugefügt. Die Ergebnisse einiger neueren Beobachtungen sind als „Nachtrag" mitgetheilt.

Inhalts, die man an absterbenden Gonidien beobachtet, stimmen nicht ganz überein und deuten dadurch auf eine gewisse inngre Verschiedenheit der Typen.*)

Der anatomische Zusammenhang zwischen Fasern und Gonidien ist zwar nicht sehr augenfällig, jedoch bei einiger Aufmerksamkeit leicht nachzuweisen; ob er auf einem genetischen Verhältniss beruht, ist zweifelhaft.

Raccoblenna *Mass.*

Die nachstehende Charakteristik dieser Gattung stützt sich auf die Untersuchung vollkommen übereinstimmender Flechtenexemplare, die ich unter dem Namen Raccoblenna Tremniaca Mass. von den Herren Dr. Hepp und Arnold erhielt.**) Die Hepp'sche Flechte war ein Originalexemplar von Massalongo.

Der gefelderte Thallus bildet ursprünglich, allem Anschein nach, eine zusammenhängende körnige Kruste, welche erst später in Folge von Rissen, die sich auf der Oberfläche bilden, in polygonale Areolen getheilt wird, wie diess auch bei andern krustenartigen Flechten häufig vorkommt. An den untersuchten Exemplaren war indess der peripherische Theil des Thallus, insbesondere der Rand derselben nicht erhalten.***)

Jedes einzelne Stück der Kruste, welches einer Areole entspricht, besteht selbst wieder aus einer Vielzahl von kleinen, vielfach mit einander verwachsenen Schüppchen, von denen die oberflächlichen durch Prolification sich fortwährend vermehren, während die untern allmählich absterben. Darauf beruht das Dickenwachsthum des Thallus.

Die Thallusschüppchen sind durchweg parenchymatisch und die grössern meist deutlich berindet, d. h. zunächst der Oberfläche gonidienlos. Die Rinde besteht aus 1—3 Schichten kleiner, ziemlich dünnwandiger Zellen und erscheint bald durchgehends bald nur auf der einen Seite bläulich oder bläulich-schwärzlich. Die Gonidien sind blaugrün, meistens entfärbt; sie erfüllen in ziemlich gleichmässiger Vertheilung, oft längere Ketten bildend, die Maschen des interstitienlosen Parenchyms oder finden sich in der Nähe der Oberfläche in etwas grösserer Zahl als tiefer im Innern.

---

*) Wenn die im Nachtrag besprochene Annahme einer Parasitenwucherung sich bestätigt, so dürften die Gonidien der Raccoblennaartigen Flechten einer Phycochrom-grünen Fadenalge aus der Gruppe der Scytonemeen oder Rivularieen, die der Pannarien dagegen einer einzelligen Alge aus der Gruppe der Chroococcaceen angehören.

**) Herr Arnold hatte zu einem der mir mitgetheilten Exemplare die Bemerkung beigefügt: „Von dieser Stelle will ich die Flechte in Fasc. VI meiner Lich. exs. publiciren.“ Ein anderes Exemplar war mit zahlreichen Apothecien bedeckt. Letztere verhalten sich so ziemlich wie bei Lecothecium Kbr. (Vgl. Kbr. Syst. p. 399) Die Sporen sind zweizellig farblos, 16—18 Mik. lang und c. 6 Mik. breit, zu 8 in elliptisch-keulenförmigen Schläuchen; die Enden der Paraphysen bläulich, oft ziemlich intensiv blau. Das Hypothecium ist stark entwickelt, im mittleren Theil oft dicker als die Lamina proligera, kurzzellig-fibrös, gelblich, gonidienlos; das Excipulum parenchymatisch, braun-violett (in Kali meist schön violett), am Rande mit bogenförmig nach aussen verlaufenden Zellreihen, nach oben das Niveau der Lamina proligera nur wenig oder nicht überragend (daher der Rand von oben gesehen nicht immer deutlich).

***) Bei der auffallenden Uebereinstimmung dieser Gattung mit der folgenden, die ich erst später kennen lernte, ist es mir nachgerade sehr wahrscheinlich, dass auch Raccoblenna einen wahren Protothallus besitzt.

Die Anordnung der Gonidien erinnert unwillkürlich an die Collemaceen. Man beobachtet nicht selten 15—20 gliedrige geschlängelte oder im Zickzack verlaufende Ketten, die sich von den Gonidienschnüren der Collemaceen nur durch die dünnwandige Hülle und die abweichende Form der Glieder unterscheiden (Taf. XXIII Fig. 13). Es kommt auch häufig vor, dass sich die einzelnen Zellen der Kette, wie bei den Collemen, durch Scheidewände, welche mit den schon vorhandenen annähernd parallel laufen, wiederholt theilen.

Ob dessenungeachtet die ersten Theilungen der Mutterzelle, wie bei den vorhergehenden Gattungen, nach verschiedenen Richtungen des Raumes erfolgen und demnach die Anlage der Ketten auf der früher oder später eintretenden theilweisen Trennung der ersten Theilzellen beruht, bleibt unentschieden; doch scheint mir die Annahme einer solchen Kettenbildung, nach den Gruppirungen zu schliessen, wie sie in Fig. 12 a b c auf Taf. XXIII dargestellt sind, nicht gerade unwahrscheinlich. Die entgegengesetzte Annahme, dass nämlich diese Gruppirungen bloss U förmig verbogene Theile der Ketten darstellen, welche beim Zerreiben oder Quetschen des Präparates frei wurden, liegt allerdings ebenso nahe, da solche Verbiegungen, bei welchen die einander zugekehrten Seitenlinien der Kette sich von Anfang an berühren, in der That hie und da vorkommen, — und sollten weitere Beobachtungen ergeben, dass die im Vorhergehenden angenommene genetische Beziehung zwischen Gonidien und Fasern nicht besteht, der Ursprung der Gonidien folglich ein ganz anderer ist, so dürfte diese letztere Annahme sich als die richtige erweisen.

Die Vermehrung der Ketten, d. h. die Trennung derselben in kleinere Stücke, geschieht entweder durch Absterben einzelner Glieder, oder auch durch Eindringen der Faserzellen zwischen dieselben. Es kommt z. B. nicht selten vor, dass eine U förmig gebogene Stelle in der Mitte unterbrochen wird, so dass das U in zwei getrennte Schenkel zerfällt, welche allmählich weiter auseinander rücken. Die abgestorbenen Gonidienzellen können später, sofern der Inhalt resorbirt wird, von den ungefähr gleich grossen parenchymatischen Faserzellen nicht mehr unterschieden werden.

Lecothecium *Treris.*

Die einzige mir bekannte Art dieser Gattung: Lecothecium corallinoides (Hoffm.) Körb. wurde mir von Herrn von Krempelhuber in zwei ausgezeichnet schönen und instructiven Exemplaren zur Untersuchung mitgetheilt. Beide besassen einen deutlichen vom Protothallus gebildeten Rand, dessen peripherischer Theil bis auf eine Breite von 1,5—2 Millimeter ziemlich intensiv blau gefärbt war, während der etwas breitere innere Theil eine tiefschwarze Farbe zeigte. Auf dem letzteren waren schon mit blossem Auge einzelne winzig kleine Thallusschüppchen als hellere Punkte bemerkbar; sie nahmen nach innen allmählich an Zahl zu und traten an der Grenze der blau-schwarzen Randzone plötzlich in solcher Menge und Grösse auf, dass sie sich theilweise mit ihren Rändern berührten und nun die bekannte körnigschuppige Lagerkruste bildeten.

Wenn schon diese eigenthümliche Entwicklungsweise zu der Annahme berechtigt, dass man es hier mit einem Protothallus im wahren Sinne des Wortes, d. h. mit einer vorgebildeten Unterlage zu thun habe, auf welcher der Thallus sich aufbaut, so lässt vollends die genauere mikroskopische Untersuchung hierüber keinen Zweifel. Die jungen Thallusschüppchen erscheinen unter dem Mikroscop als soredienähnliche Gebilde, welche den oberflächlichen Fasern des Protothallus aufsitzen und denselben voraussichtlich ihren Ursprung verdanken. Die kleinsten, die ich beobachtete, massen 24—30 Mik. im Durchmesser; sie waren annähernd kugelig und bestanden bereits aus 3 oder mehreren, offenbar durch Theilung aus einer Mutterzelle entstandenen Gonidien, die von einer kurzzellig-fibrösen oder parenchymatischen, meist aus einer einzigen Zellschicht bestehenden Hülle umschlossen waren. Die Fasern, welche diese Hülle bildeten, waren Verästlungen der Protothallusfasern und allem Anschein nach späteren Ursprungs als die Mutterzelle der Gonidien. Ich betrachte es als ziemlich sicher, wenn auch nicht durch direkte Beobachtung bewiesen, dass sich zuerst in bekannter Weise das Gonidium und hierauf die dasselbe umschliessende Hülle bildet. Einmal angelegt, entwickelt sich das junge Thallusschüppchen durch Verästlung der Fasern, durch Theilung und wahrscheinlich auch durch Neubildung von Gonidien weiter (XXIII, 10).

Das Gewebe der jungen Thallusanlagen ist von dem des Protothallus wesentlich verschieden. Der Protothallus besteht aus langzelligen, in vorherrschend radialer Richtung verlaufenden Fasern, deren Membranen mässig verdickt und lebhaft blau gefärbt sind. Sie bilden nur stellenweise ein interstitienloses Gewebe oder dichtfilzige Bündel, an anderen Stellen dagegen ein mehr oder weniger lockeres Geflecht mit zahlreichen grösseren und kleineren Interstitien, in welchen gewöhnlich, wie es scheint, verschiedene einzellige Algen vegetiren. Die jungen Thallusschüppchen dagegen sind vollkommen interstitienlos, kurzzellig-fibrös oder dünnwandig-parenchymatisch, mit farblosen (nur an der Oberfläche schwach gelblich gefärbten) Zellwandungen, im Habitus wie bei Raccoblenna. Eine einzige Zellschicht, die von der Fläche gesehen als ein zierliches Netz erscheint, bildet die Rinde; das ganze Innere ist erfüllt mit gelblichen (durch Phycochrom gefärbten) Gonidien, deren eigenthümliche Gruppen und zickzackförmige Reihen vollkommen mit denen der erwähnten Gattung übereinstimmen und sich durch Druck leicht isoliren lassen (XXIII, 11, 13).

Der Basaltheil der Thallusanlagen ist gewöhnlich noch etwas bläulich gefärbt; bald sind es nur wenige blaue Zellen, bald einzelne Fasern, welche an der Oberfläche des Schüppchens verlaufen oder in das Gewebe eindringen und sich allmählich entfärben, bald der ganze untere Theil des Gewebes. Ob die kleinen ganz blauen Faserknäuel, die man hie und da auf den Protothallusfasern aufsitzen sieht, ebenfalls als Thallusanlagen zu betrachten sind, scheint mir zweifelhaft.

Die Thallusschüppchen zeigen nur ein sehr geringes Marginalwachsthum, sie vermehren sich dafür um so lebhafter durch Prolificationen. Auf Durchschnitten durch die ältere Kruste beobachtet man oft mehrere Schüppchen übereinander; sie erscheinen sämmtlich rundlich oder länglich, nie viel länger als breit. Neben einander liegende verwachsen nicht selten mit einander und zwar zuweilen so innig, dass die Verwachsungsstelle nur noch durch eine kleine Einkerbung der Oberfläche und die entsprechende Richtung der Zellreihen angedeutet ist. Auf solchen Verschmelzungen scheint die Bildung grösserer, mehrlappiger Ausbreitungen zu beruhen, wie man sie mit der Loupe hie und da beobachtet; wenigstens war diess bei den wenigen, die ich untersuchte, entschieden der Fall.

Das Gewebe der älteren Thallusschüppchen ist durchweg dünnwandig-parenchymatisch, mit ziemlich grossen (8—10 Mik.) isodiametrischen Zellen, zwischen welchen in annähernd gleichmässiger Vertheilung (zunächst der Oberfläche in etwas grösserer Menge als tiefer im Innern) die Gonidien liegen. Letztere waren bei den untersuchten Exemplaren meist durchweg gelb oder grünlich-gelb; doch habe ich sie zu wiederholten Malen auch mit entschieden blaugrüner Färbung beobachtet. Die Rinde besteht aus 1—2 Schichten kleiner Zellen, deren Wandungen auf der Lagerunterseite (wie die der Protothallusfasern) bläulich gefärbt sind.

Die Vermehrung der Thallusschüppchen in der ältern Lagerkruste geschieht übrigens keineswegs ausschliesslich durch Prolification. Man beobachtet auch hier sehr häufig junge Thallusanlagen in den verschiedensten Entwicklungsstadien, welche unmittelbar aus dem Protothallus hervorsprossen und sich zwischen die schon vorhandenen Schüppchen hineindrängen. So werden die vorhandenen Lücken allmählich ausgefüllt: es bildet sich eine zusammenhängende körnige Kruste, die aber später durch das vorwiegende intercalare Wachsthum des Protothallus in Areolen zerrissen wird.

Hieher gehört auch Pterygium centrifugum var. minus Kplhbr. (Arnold Lich. exs. 159), welche Flechte neuerdings als Lecothecium contraversum Anzi erkannt wurde. Das Gewebe stimmt vollkommen mit dem von L. corallinoides überein.

Anmerkung 1. Obschon es hier nicht meine Absicht ist, den Bau und die Entwicklung der Apothecien ausführlicher zu besprechen, so kann ich doch die hierauf bezüglichen Angaben Körber's (Syst. pag. 398), da sie mit meinen Beobachtungen im Widerspruche stehen, nicht unerwähnt lassen. Nach Korber u. A. entstehen die Apothecien aus dem Protothallus, wie denn überhaupt der Ausdruck „apothecia e protothallo oriunda" sich oft genug wiederholt. Die „blaugrünen, meist querwandigen und bisweilen mit Zellkernen (?) versehenen" Protothallusfasern sollen das Excipulum der Früchte bilden, „indem sie sich zu einem maschigen Gewebe verschmelzen." Ich weiss nicht, ob überhaupt je Apothecien aus dem Protothallus entstehen, betrachte es aber als vollkommen sicher, dass dieselben bei Lecothecium in den Thallusschüppchen, nicht im Protothallus, ihren Ursprung nehmen. Durchschnitte durch das Centrum eines jungen Apotheciums von nur 0,25 Millim. Durchmesser zeigten sehr schön, wie die das Excipulum bildenden Fasern im Innern eines Thallusschüppchens entspringen, dann divergirend nach oben verlaufen und unter dem Hypothecium angekommen sich nach aussen und unten wenden, um die Oberfläche des Excipulums überall rechtwinklig zu treffen. Der Zusammenhang mit dem Protothallus reducirte sich auf einzelne Haftfasern, welche die Unterfläche des Excipulums zu beiden Seiten des Thallusschüppchens entsendet hatte.

Der anatomische Bau der Apothecien ist der nämliche wie bei Raccoblenna, ich wüsste wenigstens keinen irgend erheblichen Unterschied anzugeben Die Angabe Körber's dass das Hypothecium Gonidien enthalte, ist unrichtig und beruht wahrscheinlich auf der Verwechslung der grossen Zellen des schlauchbildenden Fasergeflechtes mit Gonidien. Im ausgebildeten Zustande der Apothecien bilden nämlich die Fortsetzungen der Schläuche und Paraphysen nach unten zwei verschiedene, gleichsam in einander geschobene Fasergeflechte, wovon das schlauchbildende sich durch grössere Zellen auszeichnet, die sich mit Jod blau färben. Es ist diess eine ganz allgemeine Erscheinung, die in der Entwicklungsgeschichte ihre Erklärung findet.

Anmerkung 2. Ob Raccoblenna und Lecothecium wirklich generisch verschieden sind, bleibt zu untersuchen; ich möchte es fast bezweifeln. Dessenungeachtet glaubte ich beide um so eher gesondert betrachten zu sollen, als es sich hier um die genaue Beschreibung von Originalexemplaren handelt.

Micaraea *Fr.*

Als Repräsentant dieser Gattung wurde mir von Herrn Dr. Hepp Micaraea prasina Hepp (Eur. 278) mitgetheilt.

Die kleinen Thallusschüppchen sind durchgehends interstitienlos, kurzzellig-fibrös oder parenchymatisch; die Gonidien blaugrün, ziemlich gleichmässig vertheilt, in kleinen Gruppen oder hie und da auch in kurzen Ketten.

Nach diesem Verhalten zu schliessen, gehört die Flechte jedenfalls zu den Raccoblennaceen.

Porocyphus *Kbr.*

Von dieser Gattung kenne ich nur P. areolatus Fr. Die Pflanze stimmt anatomisch mit den vorhergehenden Gattungen überein und gehört unzweifelhaft in diese Gruppe, wo sie wegen ihrer angiocarpischen Natur in die Nähe von Lichina zu stehen kommt.

Ephebaceae.

Eine kleine Gruppe von abnormal gebauten Flechten, welche sich besonders dadurch auszeichnen, dass die Gonidien, welche hier in keinem genetischen Zusammenhang zu den Fasern stehen, in ihrer Gesammtheit ein algenähnliches, durchaus selbstständiges Scheitelwachsthum besitzen und meist geradezu mit gewissen Algentypen übereinstimmen, nämlich: bei Ephebe und deren Verwandten mit Stigonema, bei Ephebella Hegetschweileri mit Scytonema, bei Coenogonium und Cystocoleus mit dem Confervaceen-Typus. Nach neueren Beobachtungen ist es sogar nicht unwahrscheinlich, dass die hier als Flechten bezeichneten Gewächse nichts anderes sind, als die eben genannten Algen in Verbindung mit parasitischen Pilzen, welche dieselben durchwuchern und oft vollständig einhüllen.

Von den oben genannten Repräsentanten dieser Gruppe kenne ich Ephebella

Hegetschweileri nur nach den vorhandenen Darstellungen. Nach de Bary*) liegt hier die Annahme einer Parasitenwucherung um so näher, als der in Wasser liegende Thallus genau mit Scytonema übereinstimmt und überdiess die nach Erwärmen in Kali hervortretenden farblosen Fasern nur die gallertartige Scheide durchwuchern, ohne je zwischen die grünen Zellen einzudringen. — Ich möchte namentlich auf den erstern Umstand, nämlich auf die genaue Uebereinstimmung mit einer bekannten und noch dazu sehr characteristischen Algengattung vorzugsweise Gewicht legen.

Ephebe *Fr.***)

Ephebe pubescens Fr., die bekannteste Art der Gattung, ist eine jener Pflanzen, welche schon durch die vielfachen Täuschungen, zu denen sie Veranlassung gegeben, unser Interesse erregen. Von den älteren Autoren als Lichen pubescens beschrieben, jedoch öfters verwechselt mit Cornicularia lanata Ach. und andern ähnlich aussehenden Flechten, wurde sie in der Folge bald zu den Algen, bald zu den Flechten gezählt und von Hoffmann bis auf Schaerer unter neun verschiedenen Gattungsnamen aufgeführt. Ausgezeichnete Lichenologen wie v. Flotow, welcher die Gattung Ephebe monographisch bearbeitete, schrieben derselben noch im Jahre 1850 „apothecia scutellata s. biatorinea" zu, die sie jedenfalls nicht besitzt; andere vertheilten ächte und unächte Exemplare, bunt durcheinander gemischt, mit der nämlichen Etiquette. Kützing, welcher nur die sterile Pflanze kannte, nahm dieselbe als Stigonema atrovirens in seine „Tabulae phycologicae" auf, wovon die betreffende Lieferung im Jahr 1851 erschien. Seitdem wurde sie von Bornet, Stizenberger, Hepp und Nylander genauer untersucht, — und noch hat die Verwirrung kein Ende. Die in den Thallus eingesenkten Apothecien, welche Bornet (Ann. sc. nat. 3. XVIII) beschrieb und abbildete, wurden von Stizenberger (Hedwigia 1858 Nr. 1) für Parasiten erklärt, welcher Ansicht Hepp in seinen Sporenabbildungen (III Taf. LXXXI) beistimmte. Dagegen bestätigt Nylander (Syn. p. 90) die Angabe Bornet's und bringt die Pflanze in die Nähe von Lichina. Unter solchen Umständen ist die Frage, ob Ephebe pubescens zu den Flechten oder zu den Algen gehöre, immer noch als unentschieden zu betrachten.

Es ist in der That nicht leicht möglich, aus den oben citirten Arbeiten, wenn man die verschiedenen Darstellungen kritisch beleuchtet, eine bestimmte Ansicht zu gewinnen. Sehen die Thallusenden wirklich so aus, wie sie von Bornet, Hepp und Nylander dargestellt wurden, so beruht das Längenwachsthum auf der unbegrenzten Quertheilung der Scheitelzelle, und das intercalare Wachsthum auf der Theilung der Gliederzellen, welche zunächst in der Längs- und Querrichtung, später in den verschiedensten Richtungen des Raumes stattfindet. Eine solche

---

*) Hofmeister's Handb. der physiol. Bot. II p. 269.

**) Die folgenden Mittheilungen über Ephebe habe ich im Auszuge bereits in Flora 1863 veröffentlicht.

Wachsthumsweise kommt aber nur bei den Algen vor, sie ist von derjenigen der Flechten principiell verschieden. Man kann daher geradezu sagen, die von Bornet gegebene Abbildung stelle eine Alge mit einem Flechtenapothecium dar — eine Mittelstufe, die à priori einige Bedenken erregt. Auf der andern Seite erscheint die von Stizenberger und Hepp ausgesprochene Ansicht nicht hinlänglich begründet; sie stüzt sich bloss auf die Analogie und den bekannten mikroskopischen Habitus der sterilen Pflanze und lässt sich überdiess kaum auf die Pycniden ausdehnen.

Ich hoffe, diese Widersprüche durch die folgende Darstellung der Verhältnisse gelöst und den endgültigen Nachweis geleistet zu haben, dass Ephebe pubescens, sofern es überhaupt eine selbstständige Pflanze ist, zu den Flechten und nicht zu den Algen gehört. — Die Pflanze, die ich untersuchte, ist ein fructificirendes Nylander'sches Originalexemplar, das mir von Herrn Arnold freundlichst mitgetheilt wurde.

Beobachtet man die Thallusenden bei mässiger Vergrösserung in Wasser, so scheinen sie im Allgemeinen mit den oben erwähnten Abbildungen übereinzustimmen. Die Scheitelregion besteht in der Regel aus einer einfachen Zellreihe, einer Scheitelzelle und darauf folgenden Gliederzellen. In den letzteren treten in grösserer oder kleiner Entfernung vom Scheitel zunächst Längswände, dann quer und schief verlaufende Wände auf, worauf die Theilung nach verschiedenen Richtungen fortschreitet. — Kocht man jedoch die Thallusenden in Kali, so erleidet das Bild wesentliche Veränderungen. Die oben erwähnte Zellreihe erscheint jetzt umschlossen von zarten Fasern, welche auf der Aussenfläche der Zellen von unten nach oben verlaufen und wovon die längsten (2—5 oder auch 6—10 und darüber) bis zur Scheitelzelle hinaufsteigen, oft sogar über derselben zusammen neigen (XXIII, 15). Diese Fasern sind deutlich gegliedert, die einzelnen Zellen 8—10 Mik. lang und in einiger Entfernung vom Scheitel hie und da verzweigt. Je weiter wir nach unten fortschreiten, desto grösser wird ihre Zahl, desto unregelmässiger der Verlauf. An Zweigen, die c. 40 Mik. Dicke erreicht haben, beobachtet man bei höchster Einstellung bereits ein förmliches Netz von Fasern, die sich in den verschiedensten tangentialen Richtungen kreuzen und verflechten, so dass der ursprüngliche longitudinale Verlauf oft kaum noch der vorherrschende genannt werden kann. Dabei treten die Verästlungen verhältnissmässig häufiger auf; einzelne Faseräste dringen schon frühzeitig (beispielweise bei einem Abstand von 45 Mik. vom Scheitel, bei weniger schlanken Enden oft schon in unmittelbarer Nähe der Spitze) zwischen die grösseren, aus der centralen Reihe hervorgegangenen Theilzellen ein und wachsen dann in vorherrschend longitudinaler Richtung weiter.

Wir begegnen also auch hier schon in der Stammspitze den nämlichen zwei Zellformen, welche überhaupt das Flechtengewebe charakterisiren: den Fasern und Gonidien. Denn dass die grössern centralen Zellen wirklich als Gonidien zu betrachten sind, ist nach ihrem Verhalten im ältern Thallus über jeden Zweifel erhaben. Das Eigenthümliche derselben besteht nur darin, dass sie in der Scheitelregion sich nach einem andern Gesetze theilen, als weiter unten im Thallus, dass sie gleichsam einen Stigonemafaden darstellen, dessen Spitze in Begleitung schützender Fasern, die sie umschliessen, selbstständig weiter wächst.

Entsprechend diesem Verhalten der Thallusenden beobachtet man auf Querschnitten, die in der Nähe der Spitze geführt wurden, ein oder mehrere Gonidien, umgeben von einem Kreis kleiner Zellhöhlungen, den Lumina der quergeschnittenen Fasern (XXIII, 14 a, b). Die Gonidien schliessen sich ursprünglich dicht an einander an, wie sich bei ihrer Entstehung durch Theilung der von der Scheitelzelle abgeschnittenen Gliederzellen nicht anders erwarten lässt. Später, wenn sich die Theilzellen in den Ecken abzurunden beginnen und die Verästlungen der Fasern zwischen dieselben eingedrungen sind, erscheinen sie hie und da durch die nämlichen kleinen Zellhöhlungen, die man am Umfange wahrnimmt, von einander getrennt. Die Querschnitte erhalten dadurch ein verändertes Aussehen, das um so mehr an andere strauchartige Flechten erinnert, je grösser die Zahl der eingedrungenen Fasern. Die lebhafte Verästlung der letzteren hat zur Folge, dass das fibröse Gewebe im Innern des Thallus sehr bald die Oberhand gewinnt und die Gonidien vorzugsweise auf den peripherischen Theil zurückdrängt. Viele derselben kommen im ältern Thallus unmittelbar an die Oberfläche zu liegen, indem hier die Verzweigung der Fasern in tangentialer Richtung mit der Vergrösserung der Fläche nicht gleichen Schritt hält, so dass die tiefer liegenden Zellen bloss gelegt werden. Es stimmt also nicht ganz mit der Wirklichkeit überein, wenn man dem entwickelten Thallus eine Rindenschicht zuschreibt, da er eine solche nur stellenweise oder fast gar nicht besitzt. Ebenso wenig kann von einer besonderen Gonimonschicht die Rede sein, indem die Gonidien, obgleich zunächst der Oberfläche in grösserer Zahl vorhanden, doch auch im Centrum niemals ganz fehlen.

Als eine wesentliche Eigenschaft des Gewebes, die schon für sich allein die Verwandtschaftsbeziehungen der Pflanze verräth, verdient hervorgehoben zu werden, dass dasselbe durchgehends interstitienlos erscheint, was sonst unter den strauchartigen Flechten nur bei Lichina der Fall ist. Der anatomische Habitus desselben ist im jugendlichen Zustande, so lange die Fasern im Verhältniss zur Länge der Zellen dünn sind, entschieden fibrös; später, nachdem die Lumina sich beträchtlich erweitert haben, erhält es ein mehr parenchymatisches Aussehen. Doch lassen sich auch im entwickelten Thallus die quer oder schief geschnittenen Fasern leicht von solchen unterscheiden, die in der Ebene des Schnittes verlaufen.

Die Gonidien besitzen, wie es scheint, unbegrenzte Theilungsfähigkeit. Sie bilden (abgesehen von der Scheitelregion) rundliche Gruppen, welche durch die zwischen die ältern Generationen eindringenden Fasern fortwährend in kleinere getheilt werden (XXIII, 16, 17). Eine Neubildung von Gonidien habe ich nirgends beobachtet; sie kommt auch, da in der Thallusspitze jedenfalls nur Theilung stattfindet, wahrscheinlich nicht vor. Auch bei der Bildung neuer Thallusanlagen durch Soredien ist eine solche nicht anzunehmen, da dieser Vorgang von der gewöhnlichen Zweigbildung an ältern Gliedern nicht wesentlich verschieden sein kann. Demnach ist die Neubildung, sofern sie überhaupt je stattfindet, auf die

Fälle beschränkt, wo die Entwicklung von der Spore ausgeht, was bekanntlich nur selten vorkommt.

Die Farbe der Gonidien ist im Wasser braungelb; sie nimmt beim Erhitzen in Kali einen braunrothen oder braun-orangefarbigen Ton an und geht nach Zusatz von Säuren im Ueberschuss in ein helles grünliches Gelb über. Diese Veränderlichkeit deutet darauf hin, dass die Gonidien zu den blaugrünen (durch Phycochrom gefärbten) zu zählen sind, welche Annahme überdiess durch die Theilungsweise und Gruppirung derselben gerechtfertigt erscheint.

Der in die Membranen eingelagerte braungelbe Farbstoff wird durch Erhitzen in Kali vollständig ausgezogen. Behandelt man nun das farblos gewordene Gewebe nach vorhergegangenem Auswaschen mit Jodlösung, so färben sich im ältern Thallus und in den dickern Zweigen die Gonidienmembranen intensiv blau, während die Fasermembranen farblos bleiben (XXIII, 16). In den jüngern Enden dagegen, wo die Fasern als feine Kanäle in der homogenen Membransubstanz erscheinen, nimmt die letztere bis an die Oberfläche die nämliche indigoblaue Färbung an. Aus diesem Verhalten ohne Weiteres den Schluss zu ziehen, dass wirklich die Fasermembranen hier blau gefärbt seien, scheint mir jedoch keineswegs gerechtfertigt. Ich halte es für wahrscheinlicher, dass sie bloss unmessbar dünn und in die Gallerthülle der Gonidien eingebettet sind. Damit stimmt denn auch der Umstand überein, dass der Umriss der Scheitelregion sich oberhalb der Faserenden und um das Scheitelgonidium herum ohne Absatz fortsetzt, und die Gallerthülle selbst in ihrem ganzen Umfange, auch wo sie keine Fasern einschliesst, ungefähr dieselbe Dicke besitzt.

Die von Fasern durchsetzten Gonidiengruppen, die im entwickelten Thallus, wie bereits bemerkt, unmittelbar an der Oberfläche liegen und die Unebenheiten derselben bedingen brechen zuweilen als Soredien hervor und bleiben theilweise an der Durchbruchsstelle haften. An dem untersuchten fructificirenden Exemplar waren sie ziemlich spärlich vorhanden; um so zahlreicher mögen sie an solchen Standorten auftreten, wo sie voraussichtlich die einzigen Fortpflanzungsorgane sind.

Die Verästlung des Thallus beruht auf der Bildung von Adventivästen oder auf Gabelung. Letztere habe ich übrigens nur an solchen Enden beobachtet, bei welchen die Gonidien ausnahmsweise auch in der Spitze Gruppen bildeten, wo also ein Scheitelgonidium nicht vorhanden war. Es ist einleuchtend, dass in diesem Falle jede beliebige Theilzelle in der Krümmung des Scheitels den Ausgangspunkt für die normale Vegetationsweise, d. h. die Basalzelle eines Astes bilden kann. Ganz dasselbe gilt von den peripherischen Theilzellen in beliebiger Entfernung von der Stammspitze, sie wachsen in gleicher Weise zu Adventivästen aus (vgl. XXIII, 22).

Die oben erwähnte Thatsache, dass Gonidien und Fasern zwei getrennte Systeme bilden, die keinerlei genetische Beziehung zu einander haben, gestattet mit Rücksicht auf den Entwickelungsgang von Ephebe zweierlei Deutungen. Es wäre erstens möglich, dass die Neubildung von Gonidien auf die ersten Entwicklungsstadien bei der Keimung der Spore beschränkt bliebe. Jede neugebildete grüne Zelle würde sich sofort in eine Scheitelzelle und eine Gliederzelle theilen und hiemit den Aufbau des Thallus einleiten, in welchem fortan keine weitere Neubildung mehr stattfände. Gleichzeitig würde die Stielzelle oder die benachbarten Zellen des Protothallus die begleitenden peripherischen Fasern erzeugen. — Diese Annahme erschien mir um so plausibler, als die Neubildung der Gonidien auch bei den übrigen Flechten gegen die Vermehrung derselben durch successive Theilungen meist sehr zurücktritt, ja bei vielen nicht einmal direkt nachgewiesen ist*); desshalb wurde dieselbe den vorstehenden Mittheilungen (und ebenso den hiemit übereinstimmenden in Flora 1863) zu Grunde gelegt.

Eine zweite Möglichkeit, die ich früher unberücksichtigt liess, weil sie mir etwas abenteuerlich vorkam, die mir aber gegenwärtig, nachdem sich analoge Vorstellungen auch anderwärts aufdrängen, aller Beachtung werth zu sein scheint, ist die, dass Ephebe und die verwandten Gattungen keine selbstständigen Pflanzen sind, sondern von Pilzen durchwucherte Stigonema-Fäden. Diese Möglichkeit wurde neuerdings von de Bary**) betont, welcher zu Gunsten derselben die allerdings höchst interessante Beobachtung anführt, dass manchmal unzweifelhafte Stigonema-Exemplare (de Bary gebraucht die Bezeichnung Sirosiphon) von den Ephebefäden als Zweige entspringen. Wenn sich diese Beobachtung bestätigt, was ich meinerseits nicht bezweifle, dann gewinnt die in Rede stehende Annahme einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Spilonema *Bornet.*

Spilonema paradoxum wurde erst von Bornet (Ann. soc. sc. nat. de Cherbourg IV p. 226) genauer untersucht und als Repräsentant einer neuen Gattung erkannt, die zwar im Thallus mit Ephebe pubescens übereinstimmt, aber durch ihre gymnocapischen Früchte sich wesentlich von dieser unterscheidet. Ein authentisches Exemplar dieser Flechte wurde mir von Herrn v. Krempelhuber mitgetheilt.

Die Thallusenden verhalten sich in der That genau wie bei Ephebe, so dass dieselben Zeichnungen für die eine wie für die andere Pflanze gelten können. Nur schien mir die Zahl der Fasern, welche die centrale Gonidienreihe umschliessen, bei Spilonema durchschnittlich etwas kleiner zu sein; auch kommt es hier häufig vor, dass die längsten derselben nicht bis zur Scheitelzelle hinaufgehen, sondern schon bei der 3ten oder 4ten Gliederzelle unterhalb derselben endigen (XXIII, 22). Man sieht dann auf's deutlichste, dass die gallertartige, beim Erhitzen mit Kali stark aufquellende Hülle der Thallusenden von den Gonidien-Membranen, und nicht von den Fasermembranen, gebildet wird.

Im Uebrigen stimmt der Thallus, abgesehen von den kleinern Dimensionen, genau mit dem von Ephebe überein.

---

*) Streng genommen ist die Neubildung der Gonidien, d. h. das allmähliche Werden derselben als seitliche Ausstülpungen der Faserzellen nirgends direkt beobachtet, sondern stets nur aus anatomischen Verhältnissen im fertigen Zustande erschlossen.

**) Hofmeisters Handb. der physiol. Bot. II pag. 291.

Gonionema *Nyl.*

Die Thallusenden verhalten sich genau wie bei Ephebe, stimmen also mit Fig. 15 auf Taf. XXIII überein. Der ältere Thallus erreicht, wie bei Spilonema, nur eine geringe Dicke und stirbt im Innern des Lagerpolsters von unten nach oben allmählig ab. Die dicksten Stämmchen, die ich gesehen, hatten 60—70 Mik. im Durchmesser; sie bestanden aus einem interstitienlosen, ziemlich grosszellig parenchymatischen Gewebe, in welchem die zahlreichen Gonidien meist undeutliche Querzonen bildeten. Mit Rücksicht auf die Vermehrung der Gonidien, die Verästlung des Thallus und das chemische Verhalten der Membranen herrscht vollkommene Uebereinstimmung mit Ephebe und Spilonema.

Die untersuchte Pflanze, die ich der Güte des Herrn v. Krempelhuber verdanke, ist G. velutinum Ach. (Nyl. Syn. p. 88).

Coenogonium *Ehrenbg.*

Ueber diese vom gewöhnlichen Flechtentypus wesentlich abweichende Gattung hat in neuester Zeit Karsten (das Geschlechtsleben der Pflanzen und die Parthenogenesis p. 42) Untersuchungen veröffentlicht, welche in hohem Grade geeignet waren, das botanische Publikum zu überraschen. Es war mir daher sehr erwünscht, fructificirende Exemplare dieser Pflanze aus dem k. Herbarium in München zur Untersuchung benutzen zu dürfen, um so mehr, als mir die angeführten Thatsachen von vorn herein einige Zweifel eingeflösst hatten. Meine Beobachtungen stimmen nun zwar, was die vegetativen Organe betrifft, mit der Darstellung Karstens im Allgemeinen überein, stehen dagegen mit seiner Entwicklungsgeschichte der Apothecien in allen wesentlichen Punkten im Widerspruch. Das Nähere hierüber mitzutheilen behalte ich mir jedoch für eine andere Gelegenheit vor; hier beschränke ich mich auf eine kurze Beschreibung der Vegetationsorgane.*)

---

*) Ueber die Entwicklungsgeschichte der Apothecien habe ich inzwischen eine kleine Abhandlung in Flora 1862 veröffentlicht. Die wichtigsten Ergebnisse meiner Untersuchungen lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: 1) Die Apothecienanlagen stimmen in ihren ersten Entwicklungsstadien mit jungen Astanlagen überein. Es ist unrichtig, dass sie eine „freie kuglige Centralzelle“ enthalten, welche rings von der zelligen Hülle umschlossen sein soll. Diese „Centralzelle“ ist nichts anderes als der junge Ast, der gewöhnlich aus 1—2 Zellen besteht, und mit der Basis, wie immer, der Stammzelle aufsitzt. 2) Es ist unrichtig, dass sich durch „Lostrennung der Tüpfelzellen“ Löcher in der Hülle bilden, welche die „Centralzelle“ umschliesst. Es erfolgt weder eine Lostrennung von Zellen, noch bilden sich irgend welche Löcher in der zelligen Hülle. 3) Von einer Befruchtung der „Centralzelle“ kann daher selbstverständlich nicht die Rede sein, auch habe ich nie Faseräste mit Erweiterungen beobachtet, welche etwa als männliche Organe gedeutet werden könnten. 4) Die ganze Darstellung der Entwicklungsgeschichte des Hymeniums aus der „freien Centralzelle“ entbehrt jeder thatsächlichen Begründung. Die Apothecienanlage besteht, wie gewöhnlich, aus einem dicht geflochtenen kugeligen Faserknäuel, der in seinem Basaltheil den oben erwähnten, aus Gonidienzellen bestehen-

Der Thallus besteht aus vielfach verästelten Fäden, welche zu einem lockern Filzgewebe von meist fächerförmigem Gesammtumriss verflochten sind. Jeder einzelne dieser Fäden erscheint aus zwei verschiedenen Arten von Zellen gebildet: aus einer centralen Reihe von grösseren, cylindrischen Zellen, welche für sich allein eine confervenartige Pflanze bilden würden, und aus peripherischen zarten Fasern, welche diese centrale Reihe umspinnen (XXIII, 18, 19 Längsansicht und Querschnitt). Erstere enthalten grün tingirtes Plasma und entsprechen daher den Gonidien; letztere stimmen vollkommen mit gewöhnlichen Flechtenfasern überein.

Die Gonidienzellen waren im peripherischen Theil der untersuchten Exemplare 5—10, im älteren Thallus 16—18 Mik. dick, und durchschnittlich etwa 3—4 mal so lang (XXIII, 20, 21). Ihre Membranen färben sich nach Erhitzen in Kali und Zusatz von Jodtinctur schön blau, während die Fasermembranen farblos bleiben.

Das Wachsthum der Gonidienreihen geschieht durch wiederholte Theilung der Scheitelzelle und durch Ausdehnung und Verästlung der Gliederzellen; eine Theilung der letzteren findet, wie mir scheint, nicht statt. Die Aeste gehen meist rechtwinklig von den Stammzellen ab und bilden sich sowohl in der Mitte als an den Enden derselben.

Die peripherischen Fasern sind durchschnittlich 3—4 Mik., die jüngsten in der Nähe der Thallusränder etwa 1—2 Mik. dick. Sie verlaufen in vorherrschend longitudinaler Richtung bis zur Wölbung der Scheitelzelle und sind durch zahlreiche Anastomosen mit einander verbunden. Hie und da gehen einzelne Faseräste rechtwinklig ab (XXIII, 18), um sich an benachbarte Thallusfäden anzusetzen. Die einzelnen Faserzellen sind gewöhnlich 2 bis mehrere Mal so lang als dick, bei älteren Fäden mit deutlich doppelt conturirten Membranen. Die Hülle, die sie um die Gonidienzellen bilden, erscheint bald lockerer, bald dichter geflochten, besteht indess meist nur aus einer einzigen Zellschicht.

Exemplare aus Panama (von M. Wagner gesammelt), sowie solche aus Brasilien und Guyana, welche mir von Herrn v. Krempelhuber mitgetheilt wurden, verhielten sich gleich.

Cystocoleus *Thwaites.*

Eine unter dem Namen Racodium Fr. längst bekannte Pflanze, deren Bau jedoch erst von Thwaites (Ann. Mag. nat. hist. 2. Ser. Vol. III.) richtig beschrieben und abgebildet wurde. (Man vergleiche das kurze Referat von de Bary in Hofmeisters Handbuch der physiol. Bot. II. p. 270). Nach Thwaites und meinen eigenen übereinstimmenden Beobachtungen an „Racodium rupestre“

---

den, kurzen Ast umschliesst. Sie behält in der Regel bis zu einem Durchmesser von 100—150 Mikr. und darüber annähernd Kugelform bei und zeigt in diesem Stadium noch keine Spur von Hymenium. Letzteres wird erst später, nachdem eine Annäherung an die ausgebildete Form stattgefunden, angelegt und zwar nicht etwa im Innern, sondern an der obern Fläche durch Hervorsprossen paralleler Fasern.

stimmt der sterile Thallus im Wesentlichen mit demjenigen von Coenogonium überein. Er besteht, wie bei dieser letztern Gattung, aus einer centralen Reihe gestreckt-cylindrischer Zellen mit farbloser Membran und blassgrünem, wie mir scheint durch Chlorophyll gefärbtem Inhalt; die Verlängerung desselben geschieht durch Spitzenwachsthum, die Verzweigung durch wahre Astbildung nach dem Typus der Confervaceen. Die Faserhülle, welche die centrale Zellreihe umschliesst, besteht hier nur aus 5 — 6, seltener 7 oder auch nur 4 längsverlaufenden, bis zur Spitze hinauf reichenden Zellfäden mit farblosem Inhalt und brauner Membran; dieselbe ist aber trotz der geringen Zahl von Zellfäden durchgehends interstitienlos. Die braune Färbung der Membran beschränkt sich, wie man an zarten Querschnitten deutlich sicht, auf die Aussen- und Seitenwände; die Scheidewände zwischen den peripherischen und den centralen Zellen sind farblos.

Wegen der geringen Löslichkeit des braunen Farbstoffes, welcher selbst den stärksten Reagentien längere Zeit widersteht, geschieht die Untersuchung der Pflanze am besten mittelst zarter Quer- und Längsschnitte, welche nach dem Eintrocknenlassen in Gummi leicht zu erhalten sind.

Die Gallertflechten.

Mit dem Ausdrucke Gallertflechten pflegte man früher nur eine verhältnissmässig kleine Sippe von Lichenen zu bezeichnen, welche sämmtlich durch eine sehr augenfällige Quellungsfähigkeit ihrer Substanz charakterisirt sind. Die neuere Zeit hat hiezu noch eine Reihe anderer, zum Theil neu entdeckter Gattungen gefügt, welche zwar den ursprünglichen Repräsentanten der Sippe systematisch mehr oder minder nahe stehen, dabei jedoch den gallertartigen Habitus in viel geringerem Grade oder auch gar nicht besitzen. Die Verwandtschaft zwischen den neu hinzu gekommenen und den typischen Gallertflechten beschränkt sich in manchen Fällen einzig und allein auf die Interstitienlosigkeit des Gewebes (eine Eigenthümlichkeit, die man hie und da auch bei Laub- und Krustenflechten vorfindet), indess wichtige anatomische Merkmale auf eine viel nähere Verwandtschaft mit andern Flechtengruppen hindeuten.

Aus diesem Grunde habe ich die vorhergehenden Gattungen, welche man sonst den Gallertflechten beizuzählen pflegt, schon in der Einleitung mit den Pannariaceen vereinigt und sodann im Anschluss an die Gattung Pannaria der Reihe nach besprochen. Hier folgen also nur noch die ursprünglichen Repräsentanten der Gallertflechten, sowie diejenigen neueren Gattungen, welche sich systematisch nicht davon trennen lassen.

Die Eigenthümlichkeiten dieser Flechten, die bekanntlich auf den ersten Blick auch in den mikroskopischen Merkmalen sehr auffallend gegen die übrigen Lichenen abstechen, lassen sich im Wesentlichen auf zwei Punkte zurückführen; diese sind 1) das Verschmelzen der gallertartig-verdickten Membranen (besonders der Gonidien, hie und da aber auch der Faserzellen) zu einer homogenen Pulpa

2) die abweichende und höchst charakteristische Theilung der Gonidien. Andere Merkmale, wie z. B. die gleichmässige Vertheilung der Gonidien im Markgewebe oder im ganzen Thallus (Thallus homoeomericus) sind nicht charakteristisch, weil sie auch anderen Flechten aus verschiedenen Abtheilungen, die sich systematisch ferne stehen, hie und da zukommen.

Ueber den ersten Punkt, die Art und Weise nämlich, wie die allmähliche Verdickung und Verschmelzung der Membranen vor sich geht, bieten namentlich die Gonidienhüllen der Omphalarien belehrende Anhaltspunkte. Die kugelförmigen Gruppen der Gonidien, welche durch wiederholte Theilung der Mutterzellen entstehen, bleiben hier nämlich längere Zeit von der Membran dieser letztern umschlossen. Allmählig werden sodann die Conturen derselben immer undeutlicher; sie erscheint bisweilen nur stellenweise noch deutlich abgegrenzt und verschmilzt endlich vollständig mit der umgebenden Gallerte. Ganz dasselbe beobachtet man auch bei den Membranen der späteren Generationen; sie gehen successive in eine structurlose Pulpa über, genau in derselben Weise, wie es bei den einzelligen Algen mit gallertartigen Membranen der Fall ist.

Bei den Gattungen mit Gonidienketten lässt sich dieser Vorgang weniger leicht verfolgen, da die Membranen gewöhnlich gar keine deutlichen Umrisse zeigen. Doch gelingt es bisweilen, wenigstens die Dicke der ganzen (aus den Membranen der verschiedenen Generationen bestehenden) Hülle zu messen, welche den grünen Zellinhalt umgibt. Kocht man nämlich grössere Knäuel von verschlungenen Gonidienketten in Kali oder in einer verdünnten Säure (z. B. Salpetersäure) und zerdrückt alsdann das Präparat mit dem Deckgläschen, so trennen sich die Ketten gewöhnlich in der Weise von einander, dass jede ihre eigene Membran behält (Taf. XXII Fig. 7). Die Dicke der letzteren beträgt dann circa 4—5 Mik., was dem Durchmesser des Lumens ungefähr gleichkommt.

Sind die Membranen zunächst der Oberfläche gelblich gefärbt, wie bei Lempholemma und manchen Arten von Collema, so erscheinen die Gonidienhüllen hier auch ohne Anwendung von Reagentien oft deutlich conturirt und zuweilen sogar zart geschichtet. Die peripherischen Schichten sind dann immer stärker gefärbt als die innern. Auch in der farblosen Pulpa des Thallus beobachtet man hie und da Spuren von Schichtung (Taf. XXIII Fig. 2).

Die gallertartige Verdickung der Membranen lässt luftführende Zwischenräume im Innern des Thallus nicht zu Stande kommen; das Gewebe ist daher durchgehends vollkommen interstitienlos. Man überzeugt sich hievon sehr leicht, wenn man Durchschnitte durch den trockenen Thallus in Oel (z. B. in Citronen-Oel) beobachtet. Dieselben erscheinen in ihrer ganzen Ausdehnung hell, und nur in den Höhlungen der Faserzellen beobachtet man hie und da eine kleine Luftblase.

Die Theilung der Gonidien betreffend, bemerke ich nur, dass sie bei den Collemaceen immer in derselben Richtung stattfindet, so dass vielgliedrige Gonidienketten entstehen (Taf. XXII Fig. 3, 4), bei den Omphalariaceen dagegen abwechselnd nach zwei oder drei auf einander senkrecht stehenden Richtungen was die Bildung kugelförmiger Gonidiengruppen zur Folge hat (Taf. XXIII Fig. 4 d).

Google

Das Nähere über diesen Theilungsvorgang soll bei den einzelnen Gattungen mitgetheilt werden.

Die Farbe der Gonidien ist ein mehr oder minder bläuliches Grün; sie rührt jedenfalls von einem Farbstoff her, der sich vom Chlorophyll wesentlich unterscheidet, dagegen mit dem Phycochrom der Chroococcaceen und Nostochaceen — nach seinem Verhalten gegen Säuren und Alkalien zu schliessen — identisch sein dürfte. Genauere Untersuchungen hierüber habe ich nicht angestellt.

Der anatomische Zusammenhang zwischen Gonidien und Faserzellen ist bei den Omphalariaceen in der Regel sehr augenfällig und jedenfalls immer leicht nachzuweisen, wird dagegen bei den Collemaceen, d. h. bei den Gallertflechten mit Gonidienschnüren, leicht übersehen. Die meisten Autoren stellen ihn hier geradezu in Abrede; auch de Bary gibt an, dass er meine hierauf bezüglichen Mittheilungen nicht bestätigen könne. Dessenungeachtet habe ich mich noch neuerdings (November 1866) wiederholt davon überzeugt, dass ein anatomischer Zusammenhang zwischen Fasern und Gonidien hie und da thatsächlich besteht, wenn auch zugegeben werden muss, dass derselbe allem Anscheine nach nur selten vorkommt. Am leichtesten findet man ihn bei stark gelatinösen Arten, wie z. B. bei C. granosum, pulposum u. dgl., indem man Durchschnitte durch den Thallusrand oder auch durch die häufig vorkommenden Prolificationen in Wasser kocht (um eine möglichst starke Quellung hervorzurufen, ohne die Deutlichkeit der Zeichnung zu beeinträchtigen) und hierauf unter Anwendung eines mässigen Druckes auf das Deckgläschen aufmerksam durchmustert. Der Zusammenhang besteht gewöhnlich in der Art, dass ein kurzer Faserast sich seitlich an die Gonidienkette, und zwar meistens in der Nähe einer Scheidewand, ansetzt und mit ihr verwachsen erscheint, ohne dass jedoch irgend eine weitere Veränderung der betreffenden Gonidien bemerkbar wäre. In selteneren Fällen, und zwar vorzugsweise in der Marginalregion und in lebhaft vegetirenden Prolificationen, glaubte ich früher auch Verbindungen wie die auf Taf. XXII Fig. 3 dargestellte beobachtet zu haben; es wäre jedoch möglich, dass hier bezüglich der Art und Weise des Ansatzes (nicht aber des Zusammenhanges überhaupt) irgend eine Täuschung obgewaltet hätte, indem z. B. die unterhalb der seitlichen Copulationsstelle befindlichen Gonidien abgeschnitten oder abgestorben sein konnten u. dgl.*) Bei meinen neueren Beobachtungen, die ich freilich nicht so lange fortsetzte wie früher, habe ich dergleichen Verbindungen nicht wiedergefunden.

Wie dem auch sein mag, die Thatsache eines hie und da bestehenden anatomischen Zusammenhanges zwischen Gonidien und Fasern kann nicht bestritten werden. Eine andere Frage aber ist es, ob dieser Zusammenhang, wenigstens zum Theil, auf eine genetische Beziehung der Gonidien zu den Fasern hinweise, wie ich diess früher glaubte annehmen zu dürfen, oder ob man es immer nur mit Copulationen zu thun habe, welche nachträglich zwischen Gonidien und Fasern stattgefunden, ähnlich denen bei Lempholemma und Plectopsora, jedoch ohne Veränderung der copulirten Gonidien. Hierauf eine bestimmte und durchaus zuverlässige Antwort zu geben, ist mir zur Zeit nicht möglich. Ich war einerseits vergeblich bemüht, die Entstehung der Gonidien aus den Faserzellen oder auch nur den Zusammenhang junger, aus etwa 3 bis 5 Zellen bestehender Ketten mit Faserästen sicher zu beobachten; es war mir auch neuerdings nicht möglich, auf diese Weise für die in Frage gestellte genetische Beziehung die thatsächlichen Belege zu liefern. Andererseits aber sehe ich weder in der Uebereinstimmung der Gonidienketten mit den Nostocschnüren, noch in andern bekannten Thatsachen einen stichhaltigen Grund, um eine genetische Beziehung mit Entschiedenheit zu läugnen. Dabei will ich indess nicht verhehlen, dass meine eigenen Anschauungen, seitdem ich Ephebe und die verwandten Gattungen näher kennen lernte, sich eher nach dieser letztern Ansicht hinneigen.

---

*) Abgestorbene Gonidien sehen oft täuschend ähnlich aus, wie kurze Faserzellen, und können, wenn sie nach unten umgebogen sind, leicht übersehen werden. Der Winkel, welchen der Faserast mit der Gonidienkette bildet, bietet keinen sichern Anhaltspunkt, da er durch das Kochen und Quetschen des Präparates jedenfalls mehr oder weniger verändert wird.

Das Gewebe des Thallusinnern ist bei sämmtlichen Gallertflechten so ziemlich übereinstimmend. Die gallertartigen Membranen erscheinen auf Durchschnitten als eine farblose homogene Pulpa, in welche die Gonidienketten oder Gonidienkugeln eingebettet sind und welche von den Faserzellen oder von den Höhlungen derselben, die indess meist nur einen sehr geringen Durchmesser besitzen (c. 1—3 Mik.) in den verschiedensten Richtungen des Raumes durchsetzt wird (Taf. XXII Fig. 2, 6, 9). Solche Durchschnitte geben namentlich nach vorhergegangenem Kochen in Kali oder Wasser und nach Färbung des Inhaltes mit Jodtinktur*) ein zierliches Bild, in welchem sowohl Fasern als Gonidien überaus deutlich gezeichnet erscheinen. Die Faserzellen sind in der Nähe der Oberfläche ziemlich kurz, im mittlern Theil des Thallus dagegen gewöhnlich mehr oder weniger gestreckt; doch werden sie auch hier nur selten über 16—20 Mik. lang. Sehr häufig ist eine dünne innere Schicht der Membran, die sich durch grössere Dichtigkeit auszeichnet, zuweilen auch wohl die ganze Membran, deutlich von der umgebenden Gallerte abgegrenzt; die Fasern erscheinen in diesem Falle doppelt conturirt.

Zunächst der Oberfläche erlangt das Gewebe durchgehends eine etwas grössere Dichtigkeit; die Fasern sind hier immer etwas stärker verästelt, die Membranen meist braun gefärbt und augenscheinlich weniger wasserreich als tiefer im Innern. Dabei bleibt indess die Differenzirung bei der Mehrzahl der Gattungen stehen; eine eigentliche Rinde, die von dem übrigen Gewebe wesentlich verschieden oder auch nur deutlich von demselben abgegrenzt wäre, kommt in diesem Falle nicht zur Entwicklung. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden die

---

*) Die Gonidien färben sich bei dieser Behandlung tief braun, während der Inhalt der Faserzellen meist nur einen schwach gelblichen Ton annimmt. Die Pulpa bleibt farblos.

Genera Mallotium, Leptogium und Obryzum. Die oberflächlich gelegenen Zellen der Fasern sind hier zu einem schönen, grosszelligen Parenchym verbunden, welches gewöhnlich aus einer einzigen Zellschicht besteht, die auf Durchschnitten an die Epidermis der höheren Pflanzen erinnert. Diese 3 Gattungen besitzen also eine wirkliche Rindenschicht, welche mit derjenigen der übrigen laubartigen Flechten im Wesentlichen übereinstimmt und namentlich der Rinde einiger Arten von Sticta und Nephroma auch habituell sehr nahe steht.

Die Zellen dieser Rindenschicht erscheinen von der Fläche gesehen unregelmässig polygonal und zu einem geschlossenen Netze aufs innigste mit einander verschmolzen. Die Zeichnung ist namentlich an den Stellen, wo die Rinde aus einer einzigen Zellschicht besteht, äusserst zierlich und bestimmt. Besonders auffallend ist dabei die eigenthümliche Anordnung der Zellen, in Folge welcher das Gewebe sich physiognomisch von demjenigen höherer Pflanzen, z. B. von der Epidermis, meist sogleich unterscheidet — ein Umstand, welcher offenbar in der ganz verschiedenen Entstehungsweise desselben seine Erklärung findet. Wir haben es nämlich auch hier, wie bei den übrigen Flechten, mit verästelten Zellfäden zu thun, welche entweder bloss mit ihren Endzellen an der Bildung der Rinde Theil nehmen oder aber eine Strecke weit auf der Oberfläche verlaufen und mit ihren Verästlungen auf die verschiedenste Weise in einander greifen. Es gelingt freilich nur in wenigen Fällen, in diesen aber sicher, sich hievon durch direkte Beobachtung zu überzeugen, am leichtesten bei Prolificationen, bei denen die Bildung der Rinde eben begonnen hat, oder bei Arten, die häufig nur stellenweise berindet sind (z. B. Mallotium myochroum). Dass bei den übrigen ein anderes Bildungsgesetz zur Geltung komme, ist im höchsten Grade unwahrscheinlich.

Einige wenige Arten, deren Thallus nur eine sehr geringe Dicke erreicht (Leptogium minutissimum, lacerum), sind an den dünnen Stellen desselben nicht selten durch und durch parenchymatisch. Gallertartig verdickte Membranen kommen in diesem Falle nirgends vor; das Gewebe besteht durchgehends aus dünnwandigen, isodiametrischen Zellen, unter welchen die Gonidien sich bloss an ihrem grünen Inhalt erkennen lassen.

Bei den gelatinösen Formen beobachtet man häufig Copulationen zwischen benachbarten Fasern, hie und da auch zwischen Fasern und Gonidien (bei Lempholemma und Plectopsora sogar sehr häufig). An den geschlossenen Figuren, welche auf diese Weise entstehen, lässt sich die durch Copulation gebildete Seite von den übrigen meist nicht mehr unterscheiden.

Von der untern Lagerfläche gehen gewöhnlich zahlreiche Haargebilde ab, welche durch Auswachsen der Rindenzellen (Taf. XXIII Fig. 1) oder — wo eine Rinde fehlt — der oberflächlich gelegenen Faserzellen entstehen. In ihrem Aussehen stimmen sie vollkommen mit den Filzfasern von Sticta und Nephroma überein.

Die Wachsthumsweise des Thallus betreffend, so verhalten sich die Gallertflechten wie die übrigen Lichenen mit orthogonal-trajectorischem Faserverlauf. Wenigstens stehen die Faserenden der Marginalregion, welche bei rindenlosen Arten nach Kochen der Durchschnitte in Kali meist deutlich hervortreten, stets vorherrschend senkrecht auf der Oberfläche (Taf. XXII Fig. 1, 2, 9; Taf. XXIII Fig. 3). Ganz dasselbe ist auch bei den halbkugeligen oder oft beinahe kugelförmigen Prolificationen der Fall, welche bekanntlich auf der Lichtseite des Thallus häufig in grosser Zahl auftreten und sehr wahrscheinlich als junge Thallusanlagen zu betrachten sind. Tiefer im Innern wird freilich die ursprüngliche Richtung der Fasern sowohl durch die rasche Vermehrung der Gonidien und die gallertartige Verdickung der Membranen, als auch durch die intercalaren Wachsthumserscheinungen vielfach gestört; doch beobachtet man auch auf Durchschnitten durch das ältere Lager nicht selten, dass die Fasern im mittleren Theil in vorherrschend radialer Richtung verlaufen und nach beiden Seiten bogenförmig gegen die Oberfläche ausbiegen, so dass sie die letztere unter annähernd rechtem Winkel treffen. Es ist diess ganz dasselbe Verhalten, welches bei strauch- und laubartigen Flechten, die zu diesem Typus gehören, schon früher zu wiederholten Malen erwähnt wurde.

Zuweilen werden diese radial verlaufenden Fasern von zahlreichen transversalen, welche querüber von einer Rinde zur andern gespannt sind (Taf. XXIII Fig. 1), gekreuzt, eine Erscheinung, die dadurch erklärt wird, dass die Verzweigungen der nämlichen Faser, welche ober- und unterseits in die Rinde endigen, in Folge des Zuges, den das Dickenwachsthum in der Querrichtung hervorruft, sehr bald eine solche Lage annehmen, dass die Verzweigungspunkte mit den entsprechenden, in der Rinde fixirten Endpunkten in derselben geraden Linie liegen

Dass neben dem Marginalwachsthum auch ein intercalares vorkommt, wird schon durch die beträchtliche Streckung, welche die Zellen der radial verlaufenden Fasern bis auf eine gewisse Entfernung vom Rande erleiden, ausser Zweifel gesetzt. Wie stark aber die dadurch bedingte Flächenausdehnung in radialer Richtung sei, und bis auf welche Entfernung vom Rande sie sich erstrecke, konnte ich nicht mit Bestimmtheit ermitteln. Es scheint aber, dass ein lebhaftes intercalares Wachsthum auf einen ziemlich schmalen peripherischen Saum beschränkt bleibt.

Die Neubildung der Gonidien — sofern überhaupt davon die Rede sein kann — findet in der ganzen Krümmung des Randes und zwar schon an den zunächst der Oberfläche gelegenen Verästlungen statt. Die noch unausgebildeten grünen Zellen lassen sich indess von den übrigen Verästlungen der Fasern nicht mit Sicherheit unterscheiden, da eine Färbung derselben in diesen ersten Entwicklungsstadien noch nicht wahrgenommen wird. Es wäre möglich, dass bei Collema die etwas stärker aufgedunsenen Seitensprosse, meist von elliptischer Form (Taf. XXII Fig. 2 u. 2 b) als junge Gonidien zu betrachten sind, ich hielt das früher sogar für wahrscheinlich; nachdem jedoch der genetische Zusammenhang der Gonidien mit den Fasern selbst zweifelhaft geworden, so gebe ich gerne zu, dass diese Vermuthung gegenwärtig jeder sichern Basis entbehrt.

Die Vermehrung der Gonidien geht allem Anscheine nach sehr rasch von statten. Es lässt sich diess aus dem Umstande folgern, dass die Gruppen oder Ketten, die durch die wiederholte Theilung sich bilden, schon in unmittelbarer Nähe des Randes aus einer grössern Zahl von Zellen bestehen, und dass kleine Prolificationen von 40—80 Mik. Diameter nicht selten ein nostocartiges Aussehen erhalten, indem die spärlich vorhandenen Fasern von den zahlreicheren Gonidien fast ganz verdeckt werden.

Ueber die Entwicklung der Gallertflechten aus der Spore habe ich selbst, nachdem alle meine Keimungsversuche mit Sporen heteromerischer Flechten erfolglos geblieben, keine Beobachtungen angestellt. Was de Bary*) hierüber mittheilt, reicht gerade aus, um zu zeigen, dass die Entwicklung in gleicher Weise, wie in andern bekannten Fällen, mit dem Auswachsen der Spore in verästelte Zellfäden beginnt — weiter sind auch seine Versuche nicht gediehen. Unsere Kenntnisse über den Verlauf des Lebens von der Spore bis wieder zur Spore beschränken sich demnach fast ausschliesslich auf die Consequenzen, welche sich aus den anatomischen und Wachsthumsverhältnissen des ausgebildeten Thallus ziehen lassen, und diese Consequenzen fallen nothwendig verschieden aus, je nachdem man einen genetischen Zusammenhang zwischen Gonidien und Fasern annimmt oder nicht. Besteht dieser Zusammenhang, so verhalten sich die Gallertflechten rücksichtlich ihrer Entwicklungsweise im Wesentlichen wie nach der gewöhnlichen Annahme die heteromerischen: die keimende Spore treibt verästelte Zellfäden, diese erzeugen früher oder später die ersten Gonidien und legen damit den Grund zum Aufbau des Thallus, der Thallus aber kehrt mit der Bildung der Sporen zum Ausgangspunkt zurück. Eine genetische Beziehung zu den Nostocaceen oder Chroococcaceen ist in diesem Falle im höchsten Grade unwahrscheinlich; denn man könnte sich die verschiedenen Formen der letztern jedenfalls nur als von den Mutterpflanzen getrennte Gonidien denken, welche selbstständig fortzuleben im Stande wären, ohne sich je wieder zu Gallertflechten auszubilden — ein Verhältniss, für welches im ganzen Pflanzenreich auch nicht ein einziges Beispiel bekannt ist. Sowohl Zellen als Zellcomplexe, welche sich von der Mutterpflanze abgelöst haben, gehen immer, so weit die Beobachtungen reichen, entweder zu Grunde, oder sie entwickeln sich (direkt oder indirekt) zu einer Pflanze gleicher Art. — Dass aber bei den Nostocaceen und Chroococcaceen von einer Entwicklung zu Gallertflechten, die natürlich nothwendig mit der Bildung von Faserzellen beginnen müsste, keine Rede sein kann, betrachte ich als sicher; ich stehe nicht an, mit aller Entschiedenheit zu behaupten, dass die Angaben derjenigen Beobachter, welche ein Auswachsen der Gonidien in Fasern gesehen haben wollen, auf Täuschung beruhen.**)

---

*) Hofmeister, Handbuch der physiol. Bot. II pag. 264.

**) Bei dem oben erwähnten anatomischen Zusammenhang zwischen Gonidien und Fasern sprechen schon die Formverhältnisse durchaus gegen die Annahme, dass hier die Fasern aus den Gonidien entstanden sein könnten, abgesehen davon, dass sich erstere oft weithin verfolgen lassen und dass man in der Pulpa freie Faserenden (Scheitelzellen) hiebei niemals beobachtet.

Besteht dagegen kein genetischer Zusammenhang zwischen Gonidien und Fasern — eine Möglichkeit, die bei den Collemaceen, wie oben bemerkt, jedenfalls in's Auge zu fassen ist, — so bleibt aus dem eben angeführten Grunde meines Erachtens nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass die collemaartigen Gewächse keine selbstständigen Pflanzen seien, sondern von Pilzen durchwucherte Algen. Die Gonidienschnüre würden alsdann als typische Nostocaceen, die Zellfäden als das Mycelium parasitischer Ascomyceten zu betrachten sein, welche nur in dieser Verbindung ihre vollständige Ausbildung erreichen. Diese Annahme würde nicht ausschliessen, dass neben den gewöhnlichen Prolificationen, welche die Vermehrung der Collemen vermitteln, auch locale Wucherungen der grünen Zellen, ohne Betheiligung der Pilzfäden, stattfinden (was ich übrigens nie mit Sicherheit beobachtet habe); es könnte sogar vorkommen, dass dieselben sich von der Mutterpflanze ablösten, um als freie Nostoc fortzuleben. Umgekehrt wäre es auch denkbar, dass die Pilzfäden eines Collema in freie Nostoccolonien, welche dem Thallus aufsitzen, eindrängen und auf diese Weise die Umwandlung derselben in Collemagewebe veranlassten.

Bei meinen neueren Beobachtungen an Collema granosum sah ich sogar hie und da einzelne Prolificationen, die mir für eine solche Verwachsung zu sprechen schienen, obschon sie dieselbe keineswegs beweisen. Unter den zahlreichen grösseren und kleineren Nostoccolonien mit bläulicher Pulpa, welche in der Regel dem Thallus aufsitzen, beobachtete ich nämlich nicht selten auch Convolute von Nostoc- (resp. von Gonidien-) Schnüren, welche noch in dieselbe bläuliche Pulpa, wie die unzweifelhaften Nostoc, eingebettet, jedoch bereits von einigen wenigen, schwach verästelten Fasern durchsetzt waren, von denen meist eine oder mehrere sich in den farblosen oder schwach gelblichen Thallus hinein fortsetzten. Allerdings konnten diese Convolute auch aus dem Thallus herausgewachsen (die Fasern möglicher Weise auch in den Thallus hineingewachsen) sein, doch scheint mir die bläuliche Farbe der Pulpa jedenfalls eher auf die ursprüngliche Nostocnatur hinzudeuten.

Bei den Omphalariaceen ist der genetische Zusammenhang zwischen Gonidien und Fasern nach meinem Dafürhalten, wenn auch nicht unzweifelhaft, so doch mindestens so sicher, als bei irgend einer andern Flechte. Bestände er auch hier nicht, dann müsste derselbe für die heteromerischen, wie für die homoeomerischen Flechten sammt und sonders in Frage gestellt werden.

Anmerkung. Es hätte wohl keinen Werth, die ältern Ansichten über den innern Bau der Gallertflechten, soweit sie mit der vorstehenden Darstellung im Widerspruch stehen, zu widerlegen. Dagegen ist es nöthig, die in den neuesten systematischen Werken mitgetheilten Angaben mit einigen Worten zu erwähnen

Körber (Syst. p. 395) sagt wörtlich: „Eine eigentliche Schichtung gesonderter Zellenformen lässt sich nirgends deutlich erkennen, vielmehr beherrscht die dem Lager schon ursprünglich zu Grunde liegende amorphe, gallertartige Pulpa alle in derselben sich anderweitig ausbildenden Zellen dergestalt, dass die Consistenz des Lagers in der That durchweg als eine gleichartige erscheint.“ — — — — — „Aber nur selten geht im Innern des heteromerischen Lagers die Umwandlung der gewöhnlichen Gonidien in Muttergonidien vor sich, während diess bei allen Gallertflechten ein gesetzmässiger Vorgang ist.

Derselbe besteht im Wesentlichen darin, dass das primäre Gonidium, vorher in der schleimigen Pulpa meistens sich gleichsam encystirend und gegen andere Gonidien sich abschliessend, durch wiederholte Theilungen seines Inhalts Gonidioblasten erzeugt, welche je nach ihrem Alter bald in geringerer Anzahl aber dabei als grössere Massen, bald in äusserst zahlreicher Menge und dann in kleinsten Dimensionen (wo sie dann unter Umständen sich perlschnurartig vereinen) das Muttergonidium erfüllen und dasselbe endlich bei gleichzeitiger Verflüssigung des dasselbe zusammenhaltenden Schleimes völlig auflösen, so dass nun diese Gonidioblasten, frei werdend, selbst zu eigentlichen Gonidien sich ausbilden können, um später ähnliche Muttergonidien zu werden, oder (wenn in Form jener kettenförmigen Schnüre auftretend) zur Bildung wasserheller Fäden verschmelzen.“

Wenn ich diese Darstellung richtig auffasse, so hätte man sich also „die dem Lager schon ursprünglich zu Grunde liegende gallertartige Pulpa“ als etwas Präexistirendes zu denken, „in welchem die sich anderweitig ausbildenden Zellen“ entstehen. In diesem Falle würde sie jedoch mit den Fundamentalsätzen der Gewebebildungslehre so sehr in Widerspruch stehen, dass es durchaus überflüssig wäre, sie hier noch besonders widerlegen zu wollen. Sei dem wie ihm wolle, jedenfalls ist es unrichtig, dass die amorphe Pulpa dem Lager schon ursprünglich zu Grunde liegt, da dieselbe, wie oben angegeben, von den gallertartig verdickten Membranen der Fasern und Gonidien gebildet wird, das Vorhandensein der einen oder andern also nothwendig voraussetzt.

Was sodann die Vermehrungsweise der Gonidien betrifft, so begreife ich wirklich nicht, wie Körber zu einer solchen Theorie kommen konnte. Gonidien, die zu Muttergonidien werden, indem sie sich encystiren; eine Theilung in zahlreiche Gonidioblasten, welche bald isolirt bleiben, bald in Form von kettenförmigen Schnüren auftreten und in beiden Fällen durch Verflüssigung der Cyste frei werden; die Bildung wasserheller Fäden (der Fasern des Lagers) durch Verschmelzung dieser schnurförmig gereihten Mikrogonidien etc. etc. — das sind alles Dinge, die man sich zwar ganz gut denken kann, die aber in Wirklichkeit nicht vorkommen. Die angeblichen Muttergonidien sind allem Anscheine nach jene farblosen, doppelt conturirten Zellen der Gonidienketten, welche die Bedeutung der Grenzzellen bei Nostoc besitzen. Dass dieselben ursprünglich isolirt vorkommen oder in der angegebenen Weise sich theilen, ist unrichtig; sie zeichnen sich im Gegentheil gerade dadurch vor den übrigen Gliedern aus, dass sie sich nicht mehr theilen. Ihr Inhalt, weit entfernt Mikrogonidien zu bilden, schrumpft allmählich zusammen und verschwindet endlich vollständig, ohne dass dabei eine Verflüssigung der Membranen stattfände. Ebensowenig werden die farblosen Fasern, die man in der Pulpa wahrnimmt, durch Verschmelzung von Mikrogonidien gebildet. Es ist ein durchgreifendes Gesetz, dass die Gonidien von den Fasern, nicht umgekehrt die Fasern von den Gonidien gebildet werden, vorausgesetzt, dass überhaupt ein genetischer Zusammenhang zwischen Fasern und Gonidien besteht. — So dürfte denn auch die schliesslich ausgesprochene Vermuthung, dass sämmtliche Nostocarten und zum Theil auch die Gattungen Gloeocapsa, Phormidium, Palmella u. m. a. nichts als Entwicklungsformen einer Collemacee oder Byssacee seien, wohl nie die gehoffte Bestätigung finden. Die neueren Veröffentlichungen von Sachs (Bot. Ztg. 1855), Caruel (Atti Soc. ital. Sc. Nat. VII, 1864) und Andere, welche einer solchen Diamorphose günstig sind, werden einfach dadurch widerlegt, dass ein Auswachsen der Gonidien in Faserzellen, worauf es hier ankommt, weder bei Nostoc, noch bei Collema jemals stattfindet. Ich bemerke noch ausdrücklich, dass ich Collema pulposum, welches Sachs zur Untersuchung gewählt hatte, ebenfalls genau untersucht habe, jedoch die beschriebenen und abgebildeten Verzweigungen nicht finden konnte.

I. Collemaceae.

Als Collemaceen bezeichne ich, wie schon in der Einleitung angedeutet, jene Abtheilung der Gallertflechten, bei welcher die Gonidien in vielgliedrige Reihen (sogenannte Schnüre oder Ketten) gruppirt sind, indem sie sich stets nur durch Scheidewände theilen, welche die Längsachse der Kette rechtwinklig schneiden. Die einen der hieher gehörigen Gattungen besitzen, wie bekannt, eine parenchymatische Rinde; die andern sind rindenlos. Von diesen letztern bilden Lempholemma und Plectopsora (Arnoldia), weil sie durch das häufige Vorkommen von sog. Copulationszellen, d. h. von mit Faserästen copulirten und in Folge dessen eigenthümlich ausgebildeten Gonidien sich auszeichnen, eine besondere Gruppe.

1. Thallus berindet: Leptogieae.

Mallotium *Fr.* Leptogium *Fr.* Obryzum *Wallr.*

Der Thallus ist ober- und unterseits mit einer parenchymatischen Rinde bekleidet, die gewöhnlich aus einer einzigen Zellschicht besteht (Taf. XXIII Fig. 1). Dieselbe ist zuweilen schon in der Marginalregion vollständig ausgebildet, zieht sich also auf Durchschnitten in C förmigem Bogen um die Krümmung des Randes herum, wie man diess auch bei Sticta, Nephroma und andern Gattungen beobachtet. In andern Fällen erscheint dagegen der Thallusrand noch deutlich fibrös und die Umwandlung des peripherischen Fasergeflechtes zu einem dünnwandig-parenchymatischen Rindengewebe beginnt erst in einiger Entfernung von demselben. Die Untersuchung der Uebergangsstellen auf Durchschnitten und Flächenansichten ist in diesem Falle besonders instructiv, indem sie uns Aufschluss gibt über die Art und Weise, wie die Verästlungen der Fasern in einander greifen. Ist es auch nicht möglich, die einzelnen Rindenzellen als Gliederzellen bestimmter Fasern zu deuten und auf diese Weise das zierliche Zellennetz in verästelte Zellreihen zu zerlegen, so gelingt es doch, sich wenigstens im Allgemeinen von der Richtigkeit der eben ausgesprochenen Ansicht, dass das Rindengewebe durch die an der Oberfläche stattfindenden Verästlungen der Fasern gebildet werde, zu überzeugen. Ja es lassen sich sogar einzelne Rindenfasern durch Quetschen des Präparates (nach Erhitzen in Kali) isoliren; man sieht alsdann deutlich, wie dieselben sich nach innen in die zarten Markfasern, deren erweiterte Enden sie sind, fortsetzen und wie sie an der Oberfläche eine Strecke weit (so weit sie nämlich aus grossen dünnwandigen Zellen bestehen) in tangentialer Richtung verlaufen.

Bei alledem lässt sich indess der strikte Beweis, dass das intercalare Wachsthum des Rindenparenchyms bloss durch Quertheilung und Verästlung der Faserzellen bedingt werde, folglich eine Längstheilung nie vorkomme, nicht führen, und es stützt sich die Annahme, dass die für die Flechten sonst allgemein gültigen Gesetze der Gewebebildung auch hier noch Geltung haben, nur auf die Analogie.

Wenn die peripherischen Verzweigungen der Fasern, statt sich in der angegebenen Weise umzuwandeln, in Prolificationen auswachsen, so bleiben natürlich die entsprechenden Stellen rindenlos. Ist die Zahl der Prolificationen sehr gross, so kann die Entwicklung der Rinde auf der obern Seite des Thallus auch vollständig unterbleiben, was z. B. bei M. myochroum gar nicht selten der Fall ist. Zuweilen bemerkt man bloss hie und da einzelne grössere Zellen zwischen den Prolificationen.

Das Gewebe des Thallusinnern ist in der Hauptsache schon durch die vorausgehende Beschreibung der Gallertflechten im Allgemeinen charakterisirt. Hier bemerke ich nur noch, dass die Faserzellen der hieher gehörigen Formen fast durchgehends eine doppelt conturirte Membran besitzen und wie es scheint nur wenig oder auch gar nichts zur Pulpabildung beitragen. Zum weitaus grösseren Theil besteht die Pulpa ohnehin immer aus verschmolzenen Gonidienhüllen. — Die an die Rinde sich ansetzenden Zellen der Markfasern (zuweilen auch die nächstfolgenden) sind mehr oder minder erweitert (Taf. XXII Fig. 1) und bilden gewissermassen einen Uebergang zwischen Mark- und Rindenschicht.

Die Theilung der Gonidien durch Scheidewände, welche den vorhergehenden parallel sind, lässt sich auf ganz beliebigen Durchschnitten leicht verfolgen. Jugendliche Gewebe, wie z. B. die noch im Wachsthum begriffenen Thallusränder oder Prolificationen, zeigen überdiess alle möglichen Entwicklungsstufen der Grenzzellen. Man sieht, wie sich einzelne Glieder der vielzelligen Reihen, in seltenen Fällen auch 2 bis 3 unmittelbar auf einander folgende, in eigenthümlicher Weise ausbilden. Sie erreichen eine beträchtlichere Grösse, erhalten eine doppelt conturirte, zuweilen gelblich gefärbte Membran, deren Endflächen meist etwas stärker verdickt sind (XXII 4) oft sogar warzenförmig nach innen vorspringen. Dabei entfärbt sich ihr Inhalt sehr frühzeitig, schrumpft dann allmählich zusammen und verschwindet endlich vollständig. In diesem Zustande erscheinen dieselben als grosse, derbwandige Zellen von kugeliger oder ovaler Gestalt, in jeder Beziehung vollkommen übereinstimmend mit den entsprechenden Zellen der Nostoc-Schnüre. Sie lösen sich, wie diese letzteren, sehr leicht von den benachbarten Gliedern ab und vermitteln dadurch die Theilung der Gonidienketten in zwei oder mehrere, welche in gleicher Weise sich wieder theilen können. Die Grenzzellen finden sich dem entsprechend bald vollständig isolirt in der Pulpa, bald nur auf der einen Seite von der Kette abgelöst, bald noch auf beiden Seiten mit den benachbarten Zellen in Verbindung („gonidiis tum simplicibus solitariis tum moniliformibus“).

Die grün bleibenden Glieder der Kette sind unter sich gleichwerthig und besitzen, wie mir scheint, eine unbegrenzte Theilungsfähigkeit. Ich folgere diess aus dem Umstande, dass dieselben auch in den ältesten Theilen des Thallus hie und da noch jene schwachen Einkerbungen zeigen, welche auf eine eben stattgefundene Theilung schliessen lassen, sowie ferner auch aus der grossen Zahl der Glieder (bisweilen über 100), aus denen die ältern Ketten bestehen, obschon sie gewöhnlich an der obern oder untern Schnittfläche des Präparates, oder auch auf beiden, abgeschnitten sind. — Die Form der grünen Zellen betreffend bemerke ich nur, dass sie bei manchen Arten kugelig oder sogar breiter als lang, bei andern länglich elliptisch sind und dass sie nicht selten, jedoch zweifelsohne erst nach dem Erlöschen der normalen Lebensthätigkeit, auch ziemlich unregelmässige Umrisse zeigen — alles Merkmale, die man auch an den grünen Zellen der Nostocschnüre in übereinstimmender Weise beobachtet.

Die **Haargebilde** der Lagerunterseite, die bekanntlich nur bei **Mallotium** vorkommen, sind durch die Abbildung Taf. XXIII Fig. 1 hinreichend charakterisirt. Die Entwicklung derselben kann auf Durchschnitten durch den Thallusrand leicht verfolgt werden.

Die **Prolificationen** sind ursprünglich rindenlos. Früher oder später erhalten sie jedoch eine deutliche Rindenschicht, welche ohne Unterbrechung in diejenige des Thallus übergeht und daher als eine blosse Aussackung derselben erscheint.

Anmerkung. Eine sonderbare Entwicklungsgeschichte der Gonidienketten gibt **Körber** in der Anmerkung zu **Leptogium lacerum** (Syst. pag 418). Die zahlreichen merenchymatischen Sporoblasten, in welche das Sporoblastem sich theilt, sollen nämlich, sobald sie aus der Sporenmutterzelle heraustreten, unmittelbar zu jenen hellgrünlichen Mikrogonidien sich umbilden, die dann zu perlschnurartigen Fäden unter sich verwachsen. Diese Angabe beruht jedenfalls auf sehr oberflächlicher Beobachtung.

Mallotium myochroum *Schaer.* Thallus c. 140—200 Mik. dick. Obere Rinde wegen der grossen Zahl der Prolificationen häufig nur stellenweise oder gar nicht entwickelt; untere mit dünnwandigen, meist kurzzelligen Haargebilden Die Entwicklung der Rinde beginnt häufig (wahrscheinlich bei allen lebhaft vegetirenden Lappen) erst in einiger Entfernung vom Rande.

M. minutissimum *Flk.* Kleinere Exemplare durch und durch parenchymatisch, ebenso die Prolificationen; grössere beiderseits mit einer aus einer einzigen Zellschicht bestehenden Rinde. Haargebilde wie bei vorhergehender Art, jedoch schwächer entwickelt.

Leptogium atrocaeruleum *Schaer.* Kleinere Exemplare fast durchweg parenchymatisch, grössere beiderseits mit einschichtiger Rinde. Prolificationen von 60 Mik. Durchmesser und darüber zeigten eine schön parenchymatische Rinde.

L. cyanescens *Schaer.*, **tremelloides** *Fr.*, **sinuatum** *Huds.*, **ruginosum** *Duf.*, **callopismum** *Mass.* Alle diese Arten besitzen eine fast durchweg einschichtige Rinde, deren Zellen im Durchschnitt circa 4—8 Mik. messen. Die Thallusdicke beträgt bei den dünnern nur 40—80 Mik. und steigt auch bei den dicken selten über 200 Mik. Kleinere Prolificationen sind rindenlos, grössere berindet.

Obryzum corniculatum *Hoffm.* Verhält sich genau wie Leptogium.

2. Thallus rindenlos: Collemeae.

Collema *Hoffm.* Synechoblastus *Trevis.*

Diese beiden Gattungen umfassen die Mehrzahl der früher unter **Collema** vereinigten Arten. Der Thallus erreicht in der Regel eine sehr beträchtliche

Dicke (200—500 Mik.) und ist durchgehends in hohem Grade gelatinös. Von den Fasern, welche die gallertartige Pulpa in den verschiedensten Richtungen durchsetzen, sind zuweilen bloss die äusserst kleinen, etwa 1—2 Mik. in Diameter haltenden Höhlungen sichtbar, die aber dessenungeachtet meist deutliche Scheidewände besitzen. In der Mehrzahl der Fälle dagegen ist die innerste, das Lumen unmittelbar begrenzende Schicht deutlich von der Gallerte abgegrenzt und erscheint alsdann als besondere, doppelt conturirte Membran. Es mag auch vorkommen, dass die Wandungen der Faserzellen sich bei der Bildung der Pulpa gar nicht betheiligen.

Im peripherischen Theil des Lagers sind die Fasern etwas stärker verästelt und in Folge dessen verhältnissmässig zahlreicher (Taf. XXII Fig. 6). Ihre Endigungen bilden an der Oberfläche (auf tangentialen Schnitten von aussen gesehen) nicht selten ein zierliches Netz, in dessen Maschen die Gonidienketten — hier öfter mit deutlich geschichteten Hüllen — zu Tage treten. In andern Fällen stehen die Faserenden vorherrschend senkrecht zur Oberfläche, so dass sie durch tangential geführte Schnitte quergeschnitten werden.

Die Theilung der Gonidien und die Bildung der Grenzzellen erfolgt in gleicher Weise wie bei den Leptogieen. Gonidienketten, welche mit kurzen Faserästen (wahrscheinlich durch Copulation) in Verbindung stehen, scheinen hier häufiger vorzukommen. Ich habe sie bei mehreren Arten, die ich genauer untersuchte, ganz sicher und wiederholt beobachtet.

Die untere Lagerfläche ist häufig — wenigstens stellenweise — mit zahlreichen isolirten Zellfäden besetzt, welche bisweilen zu einem schwammigen Filzgewebe von beträchtlicher Mächtigkeit verflochten sind (so z. B. bei Collema granosum), gewöhnlicher jedoch nur einen schwachen filzigen Ueberzug bilden (etwa wie bei Sticta). Die einzelnen Zellen dieser hypothallinischen Haargebilde sind mehr oder weniger langgestreckt (c. 2—4 mal so lang als breit) und besitzen ziemlich dünne oder doch nur mässig verdickte Wandungen.

Auf der obern Fläche dagegen bilden sich sehr häufig kleinere oder grössere Prolificationen (Taf. XXII Fig. 1), welche — wenn sie in grösserer Zahl vorkommen — das körnige Aussehen derselben bedingen. Sie sehen allerdings in vielen Fällen kleinen Nostockügelchen ähnlich, wie Körber in einer Anmerkung zu C. granosum richtig bemerkt, sind aber desswegen noch keine Nostoc. In der Regel sind es überhaupt keine „gonimische Sprossen", sondern von Fasern gebildete Sprossen, welche nur in Folge der lebhaften Vermehrung der Gonidien habituell an Nostoc erinnern. Kocht man dieselben in Kali, so kommen die zarten Verästlungen der Fasern fast immer deutlich zum Vorschein und können von der Basis der Prolifikation bis zur Oberfläche verfolgt werden. Von einzelnen zweideutigen Bildungen dieser Art und den damit zusammenhängenden Fragen war bereits oben die Rede.

Es ist leicht einzusehen, dass diese körnigen Auswüchse des Lagers, nachdem sie sich von der Mutterpflanze abgelöst haben, in gleicher Weise, wie die Soredien der übrigen Flechten, mit denen sie in allen wesentlichen Punkten übereinstimmen*), unter günstigen Umständen zu einem neuen Thallus sich entwickeln können, und ich zweifle auch nicht, dass eine solche ungeschlechtliche Fortpflanzung in der Natur häufig vorkommt.

Die Arten, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, sind nach Schaer. Enum. folgende: C. bacillare, crispum, cristatum, granosum, intestiniforme, multifidum, nigrescens, palmatum, plicatile, pulposum, rupestre, Schraderi, stygium var. orbiculare, tenax, turgidum. Sie zeigen alle eine so grosse Uebereinstimmung in den anatomischen Merkmalen, dass es mir überflüssig erscheint, einzelne derselben noch speziell zu besprechen. Die vorkommenden Unterschiede beziehen sich bloss auf die Thallusdicke, die mehr oder minder starke Färbung der Pulpa zunächst der Oberfläche, und auf einige unwesentliche Eigenthümlichkeiten im Verlauf der Fasern.

3. Thallus rindenlos, Gonidienketten mit derbwandigen Copulationszellen: Plectopsoreae.

Lempholemma *Kbr.* Plectopsora**) (Arnoldia) *Mass.*

Von Collema bloss durch das abweichende Verhalten der Gonidienketten verschieden. Die letzteren bestehen aus ursprünglich gleichwerthigen Gliedern, wovon jedoch einzelne, die durch Copulation mit Faserästen in Verbindung treten, sich in ähnlicher Weise ausbilden wie die Grenzzellen der Nostocschnüre. Sie erreichen eine viel beträchtlichere Grösse (10—14 Mik. im Diam.), nehmen Kugelform an und erhalten eine deutliche, von der umgebenden Gallerte scharf abgegrenzte Membran; dabei schrumpft der Inhalt allmählich zusammen und verschwindet endlich ganz.

Diese Umwandlung geht jedoch, wie es scheint, ziemlich langsam von statten; man hat häufig Gelegenheit, auf dem nämlichen Durchschnitt die verschiedensten Entwicklungsstadien dieser Copulationszellen zu beobachten: solche, welche sich eben mit der Scheitelzelle eines Faserastes copulirt haben und sich übrigens von den benachbarten Gliedern noch nicht unterscheiden; andere, welche eine äusserst zart conturirte, oft nur stellenweise deutlich abgegrenzte Membran und einen grünen unveränderten Inhalt besitzen; ferner etwas weiter entwickelte mit doppelt conturirten Membranen und etwas zusammengeschrumpftem Inhalt; endlich solche, deren Inhalt ganz verschwunden ist (Taf. XXII, Fig. 10 a—e).

---

*) Wenn sich die Prolificationen, was nicht zu bezweifeln, von der Mutterpflanze ablösen, und sich zu einem neuen Thallus entwickeln, so sind sie wie die Soredien als ungeschlechtliche Fortpflanzungsorgane zu betrachten, die sich blos mit Rücksicht auf ihre Entwicklung von diesen letztern unterscheiden. Die Soredien bilden sich nämlich in der Gonidienzone, also im Innern des Thallus, und durchbrechen in Folge ihrer Anhäufung die Rinde; die Häufchen, die sich an der Durchbruchsstelle bilden, bestehen demnach aus einer Vielzahl keimfähiger Organe. Die Prolificationen dagegen sind knospenartige Bildungen, welche einzeln an der Oberfläche des Thallus durch Auswachsen der Fasern entstehen und oft eine beträchtliche Grösse erreichen, ehe sie sich von der Mutterpflanze ablösen. Manche derselben mögen auch zeitlebens damit verwachsen bleiben.

**) Plectopsora, nicht Plectospora, ist die richtige Schreibweise.

Der sich copulirende Ast schwillt gegen die Berührungsstelle zu gewöhnlich mehr oder weniger an, so dass er der grünen Zelle mit etwas erweiterter Basis aufsitzt. Zuweilen erhält er ebenfalls eine eigene Membran, welche sich nach der einen Seite hin allmählig verliert und auf der andern in die Membran der Copulationszelle übergeht. Gewöhnlicher hört indess diese letztere an der Berührungsstelle plötzlich auf und die Endzelle des Astes, von welcher in diesem Falle bloss der Inhalt sichtbar, erscheint wie ein Pfropf in die Oeffnung eingesenkt (Fig. 8). Diese Endzelle, welche auch als Stiel bezeichnet werden kann, verästelt sich nie und ist, wie ich vermuthe, auch keiner weitern Theilung fähig; die nächstfolgenden Zellen dagegen — insofern solche vorhanden — verzweigen sich in der Regel wieder und bedingen dadurch die auf den ersten Blick höchst auffallende Erscheinung, dass die Copulationszellen fast immer auf einzelligen Aesten sitzen.

Nicht selten steht die nämliche Copulationszelle mit 2 Faserästen in Verbindung, von denen jedoch meist nur der eine — zweifelsohne der zuerst copulirte — sich wie ein gewöhnlicher Stiel verhält, während der andere bloss mit der Aussenfläche der Membran verwachsen ist (Fig. 10 d).

Der Abstand der Copulationszellen in der Kette ist natürlich einerseits von der Lebhaftigkeit der Verästlung und anderseits von der Theilung der Gonidien abhängig. Sehr häufig sind dieselben durch 10, 20, 30—60 grüne Zellen, die sich fortwährend theilen, von einander getrennt; es kann aber auch der Fall vorkommen, dass 2—3 successive Glieder der Kette mit Fasern in Verbindung stehen und sich in der angegebenen Weise zu Copulationszellen umgewandelt haben, oder dass eine einzige grüne Zelle zwischen zwei ausgebildeten Copulationszellen liegt.*)

Wenn man das in Kali gekochte und wieder ausgewaschene Präparat mit Jod in Jodkalium behandelt, so färbt sich die Membran der Copulationszellen schmutzig weinroth, und bei etwas stärkerer Einwirkung nimmt auch die Pulpa die nämliche Färbung an. Diese Reaction kann auch ohne vorhergegangenes Kochen in Kali eintreten, bleibt jedoch in diesem Falle meist nur auf einzelne Stellen beschränkt.

Abgestorbene Gonidien, die den Faserzellen oft täuschend ähnlich sind und sich nach Zusatz von Jod nicht mehr färben, beobachtet man im ältern Thallus ziemlich häufig, und namentlich sind es die an inhaltslose Copulationszellen grenzenden Theile der Ketten, in welchen die Lebensthätigkeit, nach zahlreichen

---

*) Es ist überflüssig zu bemerken, dass diese Thatsachen, deren Richtigkeit keinem Zweifel unterliegt, durch die Annahme einer genetischen Beziehung zwischen Faserästen und Copulationszellen nicht erklärt werden.

Beobachtungen zu schliessen, durchschnittlich früher erlischt als in den entfernteren Gliedern.*)

Lempholemma compactum *Körb.* (Hepp. Eur. 661) und Arnoldia cyathodes *Mass* (Hepp. Eur. 660) verhalten sich gleich. Die nämlichen Zeichnungen (Taf. XXII, Fig. 8—10) gelten eben so gut für die eine, wie für die andere Flechte.

Bei Arnoldia botryosa habe ich wohl mehrgliedrige Ketten und grosse, den Copulationszellen ähnliche Glieder, nie aber mit Sicherheit die Stiele derselben beobachtet. Die Exemplare waren übrigens so ungünstig, dass auf manchen Durchschnitten nicht einmal deutliche Ketten zu sehen waren.

II. Omphalariaceae.

Die folgenden Gattungen, die in der Einleitung als Omphalariaceen aufgezählt wurden, grenzen sich, wie ich für die ersterwähnten bereits früher (Vierteljahrsbericht der naturforsch. Ges. in Zürich 1860) nachgewiesen habe, durch die abweichende Theilung der Gonidien mit aller Schärfe von der vorhergehenden ab. Der Theilungsvorgang, der im Wesentlichen auf der Bildung kugelförmiger Gruppen mit dichotomisch verzweigten Stielen beruht, lässt sich bei den Gattungen mit stark entwickelter Pulpa ziemlich leicht übersehen, schwieriger dagegen bei Psorotichia u. a. von schwach gelatinöser Consistenz. In allen Fällen aber bildet derselbe ein durchaus zuverlässiges morphologisches Merkmal von ausnahmsloser Constanz. Das Nähere darüber ist bei den einzelnen Gattungen mitgetheilt.

Omphalaria. Enchylium.

Die Theilung der Gonidien geschieht hier in folgender Weise. Die erste Scheidewand, durch welche die primäre grüne Zelle in zwei Tochterzellen getheilt wird, geht wie bei den sog. heteromerischen Flechten durch den Anheftungspunkt des Stieles (Taf. XXIII, Fig. 4 a). Während dieselbe sich allmählig verdickt, gabelt sich die Stielzelle in der Weise, dass jede der beiden Tochterzellen auf einem Gabelzweig sitzt (Fig. 4 b). Die beiden folgenden Scheidewände setzen sich auf beiden Seiten unter rechten Winkeln an die erste an, bilden also mit derselben ein Kreuz (Fig. 4 c); sie gehen übrigens ebenfalls durch die Anheftungspunkte der Stielzellen, d. h. der beiden Gabelzweige, liegen also in der ersten Gabelungsebene. Die beiden Stielzellen gabeln sich jetzt wieder und zwar mit Rücksicht auf die anstossenden Scheidewände in gleicher Weise wie das erste Mal. Die zweite Gabelungsebene steht daher, da die successiven Scheidewände sich rechtwinklig schneiden, senkrecht auf der ersten. So geht nun die Theilung weiter: jede folgende Scheidewand setzt sich rechtwinklig an die vorhergehende an (Fig. 4 d), jede Gabelungsebene steht senkrecht auf der anstossenden Scheidewand.

---

*) Körber (Syst. p. 401) spricht sich hier bezüglich der oben besprochenen Entwickelung der Collemaceen aus Nostoc etc. genauer dahin aus, es sei höchst wahrscheinlich, dass Nostoc commune nichts Anderes sei, als unsere Flechte im sterilen, sowie im Spermogonien tragenden Zustande. Hierauf habe ich bloss zu bemerken, dass Spermogonien tragende Nostoc commune, es versteht sich ohne Faserzellen, nicht vorkommen, und dass ein steriles Lempholemma eben so gut als ein fruchttragendes durch die besprochenen anatomischen Merkmale charakterisirt wird.

Die Membranen der älteren Generationen dehnen sich unterdessen immer weiter aus, sie erscheinen immer undeutlicher conturirt und lassen sich endlich von der umgebenden Gallerte nicht mehr unterscheiden. Bei den einen geht dieser Verschmelzungsprozess im Verhältniss zur Lebhaftigkeit der Theilung sehr rasch von statten, indem man selten mehr als 2 Zellen von einer gemeinsamen Membran umschlossen sieht; bei den andern dagegen langsamer, so dass Gruppen von 16—64 Zellen noch eine gemeinsame Hülle besitzen.

Die gallertartig verdickten Membranen der einzelnen grünen Zellen bestehen in einem geeigneten Stadium aus drei gesonderten Schichten: einer oberflächlichen dichten Schicht, die unter dem Microscop hell erscheint, einer mittleren wasserreichen, die sich kaum von der umgebenden Pulpa unterscheidet, und einer innersten dichten von etwas grösserer Mächtigkeit als die erste. Nach der Theilung der Zellen schmiegt sich diese innerste Schicht an die beiden Tochterzellen an, als deren besondere Membran sie erscheint; sie wächst sodann eine Zeit lang in die Dicke und spaltet sich hierauf wieder in zwei dichte Schichten, welche durch eine wasserreiche von einander getrennt sind (Fig. 5 b). Jene äussere Schicht umgibt dieselben als eine kugelige oder ovale Blase, wird indessen allmählich dünner, bis sie endlich vollständig in Gallerte umgewandelt ist. Diese Verhältnisse lassen sich namentlich bei Omphalaria Girardi Dur. Mont. nach Erhitzen der Durchschnitte in Kali sehr schön beobachten.

Die Gonidien sind zunächst der Oberfläche, wo sie meist in grösserer Zahl vorkommen (XXIII. 3), nicht selten mehr oder weniger verändert. Ihre ursprüngliche Färbung, die im mittleren Theile sich noch unverändert erhalten hat, erscheint nämlich in ein schmutziges Gelb oder Grüngelb umgewandelt. Ueberdiess deutet die Form und Anordnung der Theilzellen darauf hin, dass eine weitere Theilung hier nicht mehr stattfindet.

Das Gewebe des Thallus stimmt im Uebrigen mit dem der Collemaceen überein. Die Fasern besitzen entweder gar keine oder eine äusserst zarte und nur stellenweise wahrnehmbare besondere Membran. Sie bilden im mittleren Theil des Thallus nicht selten ein förmliches Bündel, von welchem nach beiden Seiten kleinere Zweige und einzelne Fasern abgehen, die auf die mannigfachste Weise unter sich anastomosiren (Fig. 3). In der Marginalregion löst sich dieses mittlere Bündel in viele kleine auf, welche nach vorn, oben und unten bogenförmig gegen den Rand verlaufen, folglich in annähernd orthogonal-trajectorischer Richtung weiter wachsen. Die letzten Verzweigungen der Fasern werden indess durch die zahlreichen Gonidien stets mehr oder weniger verdeckt, und es lassen sich namentlich die Scheitelzellen nicht deutlich genug wahrnehmen, um einen Durchschnitt durch den Rand genau zeichnen zu können.

Die Bildung der Gonidien findet, wie mir scheint, in der ganzen Marginalregion und zwar schon in unmittelbarer Nähe der Oberfläche statt. Sie treten schon hier wie im ältern Thallus in grosser Zahl auf und lassen sich nur dadurch als jüngere Bildungen erkennen, dass viele derselben noch ungetheilt, andere in 2 oder 4 Zellen getheilt sind, grössere Gonidienkugeln aber gänzlich fehlen.

Anmerkung. Der innere Bau einer hieher gehörigen Flechte (Synalissa ramulosa Schrad.) wird von Korber (Syst. p. 423) folgendermassen beschrieben: „Der Thallus besteht aus einer farblosen derb-gelatinosen Pulpa, welche nach aussen zu an beiden Seiten des Lagers zu einer rothbraunen, aus verschmolzenen Zellen bestehenden Rinde erhärtet erscheint. Unterhalb dieser Rindenschicht (die natürlich nach innen zu keine scharfe Grenze zeigt), liegen in nicht zu breiter Lage isolirte, grosse, hellgrünliche, von einer kreisrunden ungefärbten Schleimhülle umgebene schöne Gonidien, wie ich sie in ganz gleicher Weise bei keiner andern Flechte bisher je gesehen habe. Endlich platzen diese Gonidienkugeln, gewöhnlich nachdem sie sich vorher entfärbt haben, wasserhell geworden sind und die grüne Färbung an die Hülle übergegangen ist, die nunmehr als ein an einer Stelle offener (zerrissener) Ring zurückbleibt. Offenbar bilden sich aus diesen Gonidien ebenso die braunrothen Rindentheile, wie die farblose schleimige Pulpa. In letzterer liegen übrigens sehr verzweigte, anastomosirende, farblose, zarte Fadenzellen, ebenfalls eingebettet, während hingegen von Gonidienschnüren nirgends eine Spur zu sehen ist.“

Dieser Darstellung gegenüber beschränke ich mich auf die Hervorhebung der factischen Unrichtigkeiten:

1) Der Thallus der Omphalarien ist ebensowenig berindet, als der der Collemeen. Beide stimmen mit Rücksicht auf das Verhalten der oberflächlichen Fasern vollkommen mit einander überein.
2) Die Angabe, dass die Gonidien nur zunächst der Oberfläche „in nicht zu breiter Lage“ vorkommen, ist dahin zu berichtigen, dass sie gegen die Oberfläche zu in grösserer Zahl auftreten, aber auch in der Mitte nur selten fehlen.
3) Die Gonidienkugeln platzen nicht. Wenn die Gallerthülle als ein an einer Stelle offener (nicht zerrissener) Ring erscheint, so erklärt sich das einfach aus dem Umstande, dass der Umriss der Membran am Anheftungspunkte des Stieles, ähnlich wie bei den Copulationszellen von Lempholemma, unterbrochen ist.
4) Die weitere Angabe, dass sich aus den Gonidien „ebenso die braunrothen Rindentheile, wie die farblose schleimige Pulpa“ bilden, ist nur in soweit richtig, als die Hüllen der Gonidien an der Bildung der Pulpa Theil nehmen und die letztere zunächst der Oberfläche häufig braun gefärbt ist.

Omphalaria Girardi Dur. mont. (Hepp. Eur. 419). Oberseite des Thallus nur durch die Gegenwart von Spermogonien charakterisirt, sonst vollkommen wie die Unterseite. Faserstrang im mittleren Theil des Thallus, nach beiden Seiten kleine Bündel absendend, häufig beobachtet (Taf. XXIII, Fig. 3); Faserzellen meist ohne besondere Membran. Gonidienkugeln zunächst der Oberfläche dicht gedrängt, nicht selten braungelb gefärbt; zum Studium der Theilungsvorgänge besonders geeignet (Fig, 4, 5).

O. pulvinata (Hepp. Eur. Nr. 658—659). Wie vorhergehende Art, die Gonidienkugeln jedoch selten so schön. Die Varietät β Scleicheri Hepp verhält sich ebenso.

O. decipiens Mass. (Hepp. Eur. 657). Faserzellen mit grössern Höhlungen als bei den vorhergehenden Arten, hie und da mit deutlichen Membranen. Gonidienkugeln undeutlich; mehr als 2 noch mit dem Stiele in Verbindung stehende Gonidien habe ich nie beobachtet, diese aber sicher.

Enchylium synalissum Mass. (Synalissa Acharii Hepp. Eur. 89). Mit häufigen Prolificationen, an denen die Faserenden nach Kochen in Kali deutlich hervortreten.

E. corynophorum (Omphalaria coralloides Hepp. Eur. 656), Die Gonidienmembranen werden sehr rasch in Gallerte umgewandelt, so dass man gemeinsame Membranen in der Regel nicht beobachtet. Gonidien (der untersuchten Exemplare) grün bis an die Oberfläche, hier wie gewöhnlich in grösserer Zahl. — Spermogonien zu wiederholten Malen an den Enden der cylindrischen Verzweigungen (mit scheitelständigem Ostiolum) beobachtet.

Psorotichia *Mass.*

Eine Gattung, welche mit Micararaea, Raccoblenna und Pterygium das interstitienlose, kurzzellig-fibröse oder parenchymatische Gewebe gemein hat, aber durch die Theilungsweise der Gonidien ihre Verwandtschaft mit Enchylium und den übrigen Omphalarieen verräth.*)

Die Gonidien sind blaugrün, häufig entfärbt, einzeln oder in kleineren und grösseren Gruppen im Gewebe zerstreut, zunächst der Oberfläche meist zahlreicher, als tiefer im Innern. Die Theilung findet in der Regel wie bei Omphalaria nach senkrecht auf einander stehenden Richtungen des Raumes statt; man beobachtet nicht selten Gruppen von 8 Zellen, die annähernd wie die Ecken eines Würfels gestellt sind (XXIII, 23a), noch häufiger freilich grössere Gruppen von 16—30 Zellen und darüber mit unregelmässiger Anordnung der Theilzellen. Solche Gruppen erinnern meist auffallend an Soredien mit fibröser Hülle; sie sind wie diese von vielfach verästelten Fasern durchflochten, welche die einzelnen Theilzellen von einander trennen und die zu älteren Generationen gehörigen nach und nach in verschiedene Complexe absondern.

Ob jede der Theilzellen auf einem eigenen, durch wiederholte Gabelung der ursprünglichen Stielzelle gebildeten Stiele sitzt, konnte ich bei grösseren Gruppen nicht mit Sicherheit unterscheiden; bei kleineren ist es, nach mehreren sicheren Beobachtungen, entschieden der Fall. Jedenfalls bleibt die Verzweigung nicht bei der wiederholten Gabelung stehen; es bilden sich noch andere Faseräste, welche hie und da zwischen den oberflächlichen Zellen der Gruppe hervorstehen und das sorediénähnliche Aussehen derselben bedingen (XXIII, 24 a, b).

---

*) So sehr auch die Raccoblennaceen und Omphalariaceen in ihren typischen Formen von einander abweichen, so ist es doch nicht immer leicht, die krustenartigen Repräsentanten der einen und andern Abtheilung sicher von einander zu unterscheiden, da bei der vollkommenen Uebereinstimmung der Gewebe als einzige Anhaltspunkte die Theilungsweise der Gonidien und das Verhalten der Stielzelle übrig bleiben. Die verschiedenen Gattungen dieser Krustenflechten nach ihrem microscopischen Verhalten scharf zu characterisiren, ist ohne Herbeiziehung der carpologischen Merkmale geradezu unmöglich.

Das Gewebe des Thallus ist, wie bereits bemerkt, vollkommen interstitienlos, dabei kleinzellig-parenchymatisch oder fibrös. Eine eigentliche Pulpa kommt nicht zur Entwickelung. Die grossen rundlichen Zellen, welche stellenweise den anatomischen Habitus bedingen, sind nicht etwa erweiterte Faserzellen, sondern abgestorbene Gonidien. Denselben Ursprung haben die grösseren und kleineren Gruppen poliedrischer, ziemlich dünnwandiger Zellen, welche oft in grosser Zahl in das fibröse Gewebe des Thallus eingesenkt erscheinen.

Vorstehende Angaben stützen sich auf die Untersuchung folgender mir von Herrn **Arnold** mitgetheilten Flechten.

Psorotichia murorum Arn. lich. exs. 430 d. Die Thallusschüppchen sind kurzzellig-fibrös oder stellenweise parenchymatisch, die Gonidiengruppen von verästelten Fasern durchflochten, nie in Ketten aufgelöst. Die Theilung der Gonidien beginnt in der Regel mit kreuzweis gestellten Scheidewänden und schreitet so fort, dass die ersten 8 Tochterzellen wie die Ecken eines Würfels gestellt sind. Es ist diess die nämliche Stellung, die man auch bei Pannaria, Sticta u. a. öfters beobachtet, die man aber auch bei Omphalaria und den verwandten Gattungen erhält, wenn die Gabelzweige der Stielzelle mit dem entsprechenden Stammtheil einen rechten Winkel bilden. In mehreren Fällen glaube ich sicher beobachtet zu haben, dass wenigstens die 8 ersten Tochterzellen auf besonderen Stielen sitzen. Bei grösseren Gruppen lässt sich die Frage wegen der schwachen Verdickung und geringen Quellungsfähigkeit der Membranen nicht wohl entscheiden.

Ps. murorum Arn. lich. exs. 157. Thallusschüppchen kleinzellig-fibrös. Gonidiengruppen von spärlichen Fasern durchflochten, in den tiefer liegenden Schüppchen abgestorben und inhaltslos. Theilung, wie es scheint, zuweilen nach verschiedenen unbestimmten Richtungen; Gabelung der Stielzelle, obgleich bei Gruppen von 4 Zellen öfters angedeutet, nie sicher beobachtet, nicht selten dagegen das weitere Wachsthum und die unregelmässige Verzweigung derselben. Im Uebrigen wie die vorhergehende Nummer, — gehört doch wohl hieher.

Ps. murorum Arn. lich. exs. 620. Thalusschüppchen kurzzellig-fibrös oder undeutlich parenchymatisch, hie und da mit grossen Zellhöhlungen oder Gruppen von solchen. Gonidiengruppen von verästelten Fasern durchflochten; gestielte Theilzellen beobachtet.

„**Pannaria Schaereri** oder **Psorotichia murorum**?“ Arn. lich. exs. 774. Verhält sich ebenso.

? **Ps. riparia.** Arn. lich. exs. 33. Thalusschüppchen kurzzellig-fibrös oder parenchymatisch, hie und da mit grossen ovalen Zellhöhlungen, Gonidien blaugrün, in Gruppen ohne Faserverästelungen. Gehört wahrscheinlich nicht hieher, sondern zu den Pannariaceen.

Phylliscum.

Die untersuchte Pflanze, die ich der Güte des Herrn Arnold verdanke, ist Phylliscum endocarpoides. Dieselbe stimmt mit Rücksicht auf die vorherrschende Richtung der Fasern und den microscopischen Habitus des Gewebes im Allgemeinen mit Omphalaria überein, ist jedoch durch das eigenthümliche Verhalten der Gonidien in hohem Grade ausgezeichnet. Die Fasern verlaufen im mittlern Theil des Thallus in der Längsrichtung der Lappen und divergiren nach oben und unten gegen die Oberfläche, welche letztere sie annähernd rechtwinklig treffen (Vgl. Taf. XXIII, Fig. 3). Die Membranen sind gallertartig verdickt, jedoch ohne zu einer homogenen Pulpa verschmolzen zu sein, zunächst der Oberfläche wie gewöhnlich braun gefärbt.

Die Gonidien sind blaugrün, auffallend gross (20 — 30 Mik. im Diam.), kugelig oder elliptisch, mit gallertartiger, meist deutlich-vielschichtiger Membran (XXIII, 6). Die Theilung erfolgt wie bei den übrigen Gattungen der Omphalariaceen durch annähernd senkrecht auf einander stehende Scheidewände; nur trennen sich die Tochterzellen hier sehr rasch von einander, so dass man im Innern des Thallus meist nur isolirte Gonidien, selten Gruppen von 2—4 zusammengehörigen beobachtet (XXIII, 8, 9). Dass eine Verästlung der Stielzelle stattfindet, lässt sich schon aus dem Umstande folgern, dass die meisten der isolirten Gonidien bei genauer Untersuchung gestielt erscheinen (Fig. 7), was nur dann möglich ist, wenn mindestens die grosse Mehrzahl derselben wirklich gestielt ist, da manche Stielzellen durch den Schnitt entfernt werden oder unbemerkt auf der abgekehrten Seite liegen. Es geht diess aber auch aus den direct beobachteten Fällen, wie sie in Fig. 8 und 9 dargestellt sind, mit Bestimmtheit hervor. Ja es scheint sogar Regel zu sein, dass die Verästlung nicht bei der blossen Gabelung stehen bleibt, sondern (wie bei Psorotichia) in unregelmässiger Weise weiter fortschreitet und dadurch die Bildung soredienähnlicher Gruppen veranlasst. Man sieht wenigstens hie und da 4—6 wie Theilzellen gestellte Gonidien, deren Zusammengehörigkeit zwar nicht sicher, aber doch auch nicht unwahrscheinlich ist, und bei welchen die Stiele nebst andern Verästlungen mit der nämlichen Faser in Verbindung stehen.

Die Gonidienmembranen zeigen nach stattgefundener Theilung eine der Scheidewand entsprechende Einschnürung und gehen bei der Trennung der Tochterzellen in ihrer ganzen Dicke an diese letztern über. Gemeinsame Hüllen, welche die spätern Generationen umschliessen, beobachtet man daher nirgends; sie sind höchstens im peripherischen Theil, und auch hier nur bei Gruppen von 2 — 3 Zellen, schwach angedeutet. Ebensowenig findet eine Umwandlung der äussern Schichten in eine homogene Gallerte statt.

Mit Jodtinctur behandelt färben sich die Gonidienmembranen an einzelnen Stellen des Thallus violett oder braun-violett, während sie an andern Stellen farblos bleiben. Beim Erhitzen in Wasser quellen sie beträchtlich auf; kochendes Kali löst sie bis auf die innerste dichtere Schicht oder auch vollständig auf.

Das Gewebe des Thallusinnern ist stets fibrös und nicht immer interstitienlos, sondern hie und da in ein lockeres Fasergeflecht aufgelöst. Die äusseren Conturen der Fasermembranen sind auch in den dichten Partien immer noch erkennbar; die Trennung derselben bei Anwendung von Druck findet in der Berührungslinie statt.

Die beiden untersuchten Exemplare, das eine bei Nyborg in Finnmarken von Th. Fries, das andere in den Sudeten von Körber gesammelt, verhielten sich gleich.

Nachtrag.

Die Entscheidung darüber, ob und inwieweit die Annahme einer auf Verwachsung parasitischer Pilze mit Algen beruhenden Thallusbildung gerechtfertigt sei, bleibt weitern Untersuchungen vorbehalten. Nachdem jedoch die Möglichkeit eines solchen Vorganges und in einzelnen Fällen sogar die Wahrscheinlichkeit desselben nicht mehr bestritten werden kann, drängt sich jetzt schon die Frage auf, ob nicht vielleicht sämmtliche Flechten in dieser nämlichen Weise entstehen: ob die Gonidien nicht durchgehends als typische Algen und die farblosen Zellfäden als Pilzhyphen zu betrachten seien, welche von jenen die zum Aufbau des Thallus erforderliche Nahrung beziehen. So wie die Dinge gegenwärtig stehen, lässt sich sowohl für als gegen eine solche Auffassung Mancherlei anführen, und das Urtheil des Einzelnen wird je nach dem Gewicht, das er den betreffenden Thatsachen beilegt, verschieden ausfallen.

Für die Annahme einer Parasitenwucherung lässt sich geltend machen:

1) dass bis jetzt die genetische Beziehung der Gonidien zu den Faserzellen nirgends direct nachgewiesen, sondern stets nur aus anatomischen Verhältnissen erschlossen wurde, der anatomische Zusammenhang aber möglicherweise immer auf Copulation beruht.

2) Dass die Membranen der Gonidien rücksichtlich ihres chemischen Verhaltens sich durchgehends von den Fasermembranen unterscheiden, indem erstere wie bei den unten bezeichneten Algen, letztere wie bei Pilzen reagiren.

3) Dass die verschiedenen Gonidienformen mit Bezug auf Bau und Vermehrungsweise ebensovielen Typen einzelliger und Fadenalgen entsprechen, so zwar, dass ein isolirtes Gonidium, resp. Gonidiensystem, von der betreffenden Alge in vielen Fällen nicht unterschieden werden kann. Diese Algentypen sind:

a) für die meisten heteromerischen Flechten (Usnea, Bryopogon, Evernia, Physcia, Anaptychia, Imbricaria, Parmelia etc.) die Palmellaceen-Gattung Cystococcus Näg. (C. humicola und dessen Verwandte);

b) für einige andere heteromerische Flechten die Palmellaceengattung Pleurococcus Menegh (P. vulgaris und verwandte Formen);

c) für Roccella die Gattung Exococcus Näg. Manuscript.

d) für die Omphalariaceen, sowie für die übrigen Flechten mit blaugrünen

Gonidien verschiedene Repräsentanten der Chroococcaceen, darunter namentlich Gloeocapsa und wahrscheinlich auch Chroococcus u. a. noch näher zu vergleichende Gattungen;

e) für die Collemaceen mit Gonidienschnüren die Gattung Nostoc;

f) für Ephebe und deren Verwandte Stigonema (für Ephebella Hegetschweileri Scytonema);

g) für Coenogonium und Cystocoleus eine zum Typus der Conferveen gehörige Fadenalge;

h) für Graphis, Opegrapha und deren Verwandte die Gattung Chroolepus.

4) Dass die Keimung der Spore bis jetzt nicht weiter als bis zur Anlage des Protothallus beobachtet werden konnte, wahrscheinlich desshalb, weil die Mitwirkung der betreffenden Alge fehlte (bei Tulasne's Versuchen, die Monate lang dauerten, konnten die grünen Zellen von aussen hinzugekommen sein).

5) Dass zwischen Flechten und Pyrenomyceten hinsichtlich der Fruchtentwicklung und der Spermogonienbildung eine auffallende Uebereinstimmung besteht, dergestalt, dass ohne Herbeiziehung der Gonidien eine scharfe Grenzlinie nicht gezogen werden kann.

Die meisten der eben aufgezählten Vergleichungspunkte sind ohne Weiteres einleuchtend; nur wenige erheischen eine besondere Begründung. Betreffend das chemische Verhalten der Fasermembranen mag es genügen, daran zu erinnern, dass sowohl bei Flechten als Pilzen Fälle normaler Cellulosereaction in nicht unbeträchtlicher Zahl vorkommen, dass jedoch die grössere Zahl der Pilz- und Flechtenmembranen sich mit Jod und Schwefelsäure nicht blau, sondern gelb bis braun oder auch gar nicht färben. Näheres hierüber ergibt die Vergleichung meiner darauf bezüglichen Angaben in der Einleitung mit denjenigen de Bary's in Hofmeisters Handbuch der physiol. Bot. II p. 7.

Eingehender verdient die unter 3) a und b erwähnte Uebereinstimmung der Gonidien mit Cystococcus und Pleurococcus motivirt zu werden. Die Gattung Cystococcus Näg. umfasst einzellige, kugelförmige Algen mit dünner Membran, welche sich durch Theilung nach verschiedenen Richtungen des Raumes vermehren. Die ersten Theilungen erfolgen, wie schon ein Blick auf die Darstellungen Nägeli's zeigt (Gattungen einzelliger Algen Taf. III E, vgl. namentlich i und k) im Wesentlichen in derselben Weise, wie bei den Gonidien von Usnea, Bryopogon etc. (s. diese Beiträge II. Taf. I und II), und nach eigenen Untersuchungen an Cystococcus humicola ist die Uebereinstimmung noch vollständiger, als man es bei Vergleichung der citirten Zeichnungen erwarten möchte. Ich bemerke namentlich, dass die Scheidewände, welche nach stattgefundener Zweitheilung in den beiden Theilzellen auftreten, keineswegs immer so gestellt sind, dass sie mit der ersten Scheidewand ein rechtwinkeliges Kreuz bilden. Dieselben sind im Gegentheil sehr häufig um einen grössern oder kleinern Winkel gegen einander verschoben, oft so, dass sie in rechtwinkelig sich kreuzenden Ebenen liegen. Die Theilzellen bilden in diesem Falle zwei in's Kreuz gestellte Paare von Kugelquadranten. Hie und da beobachtet man auch eine genau tetraedrische

Stellung der 4 ersten Theilzellen, ganz wie bei den Gonidien von Usnea u. a. Ebenso erfolgen auch die nächstfolgenden Theilungen in übereinstimmender Weise. Ein principieller Unterschied besteht überhaupt nur insofern, als die Theilung bei den Gonidien in der Regel mit 8—9 Theilzellen abschliesst, während sie bei Cystococcus zu einer vielzelligen Brutfamilie führt. Ich bemerke jedoch, dass man ausnahmsweise auch Gonidien findet, welche 20 bis 50 und mehr kleine Theilzellen enthalten, dabei genau kugelförmig sind und das gewöhnliche Maximum der Grösse (16—18 Mik.) nicht überschreiten. Andererseits begegnet man hin und wieder kugelförmigen Cystococcus-Theilzellen von 10—12 Mik. im Durchmesser, welche zu 7 bis 9 in rundliche Gruppen vereinigt sind und ganz den Eindruck gewähren, als ob man es mit der Gesammtzahl der aus einer Mutterzelle hervorgegangenen Theilzellen zu thun habe. Solche Gruppen geben genau das Bild von Theilgonidien, welche im Begriffe stehen, sich von einander zu trennen. Ob dieselben zur gleichen oder zu einer andern Art von Cystococcus gehören, kommt hier natürlich nicht in Betracht.

Unter diesen Umständen liegt die Vermuthung nahe, dass die reproductive Zellentheilung (Schwärmsporenbildung) bei den Flechtengonidien, weil sie unter veränderten Verhältnissen vegetiren, unterbleibe und dass dafür die Theilung in 8 Zellen zur Regel werde. Die Graphideengonidien würden alsdann einen ähnlichen Fall darbieten, indem sie die vegetativen Wachsthumsverhältnisse von Chroolepus umbrinum getreu wiederholen, ohne die Schwärmsporenbildung, wie sie bei dieser Alge beobachtet ist, jemals einzuleiten.

Aber nicht blos die Theilungsweise, auch der anatomische Bau ist bei Cystococcus humicola fast genau derselbe, wie bei den in Rede stehenden Flechtengonidien. Die Differenzen sind so unerheblich, dass man sie füglich den veränderten Vegetationsverhältnissen und der abweichenden Vermehrungsweise zuschreiben kann. Cystococcus besitzt bekanntlich einen nahezu centralen, dichtern Plasmakern (Chlorophyllbläschen nach Nägeli), welcher in jugendlichen Zellen stets grün gefärbt und dann zart contourirt ist, in späteren Entwicklungsstadien dagegen nicht selten farblos wird und gleichzeitig stärkere und mehr oder minder eckige Contouren annimmt. Nicht selten erscheint derselbe auch in Gestalt einer Hohlkugel, d. h. er ist im mittleren Theil entschieden weniger dicht. Diess erinnert allerdings an die stärkeführenden Chlorophyllbläschen der Conjugaten; es ist mir jedoch nicht gelungen, bei Cystococcus jemals Stärke in diesen Hohlräumen nachzuweisen. Aus diesem letztern Grunde und wegen des Verhaltens bei der Theilung halte ich das fragliche Plasmagebilde für einen Zellkern und werde es fortan mit diesem Ausdruck bezeichnen.

Bei der Theilung wird der Zellkern resorbirt und es bilden sich in den Tochterzellen neue Kerne. Diese letzteren kommen jedoch bei der gewöhnlichen Vermehrungsweise erst nach der Trennung der Theilzellen und nachdem dieselben eine gewisse Grösse erreicht haben, zur Entwicklung; nur wo die Zahl der Theilzellen auf c. 8 beschränkt ist, sind die neuen Kerne schon vor der Trennung derselben ausgebildet.

Eine weitere Eigenthümlichkeit, die man auch bei andern Palmellaceen beobachtet, ist der excentrische helle Raum in dem sonst gleichmässig grün gefärbten Inhalt. Derselbe grenzt hier mit ziemlich breiter, von der Fläche gesehen annähernd kreisförmiger Basis an die Innenfläche der Zellmembran und springt in der Profilansicht meist bis in die Nähe des Kerns nach innen vor.

Die Membran ist bei kleineren Cystococcuszellen sehr zart; sie erreicht auch bei den grössern und grössten nur eine sehr geringe Dicke und erscheint dem entsprechend auch da erst bei stärkerer Vergrösserung als feiner Doppelcontour. In Kali gekocht und hierauf mit Jod in Jodkalium behandelt, nimmt dieselbe eine schön indigoblaue Färbung an.

Ausgerüstet mit der Kenntniss dieser Details unterzog ich neuerdings die Gonidien einiger Flechten einer nochmaligen genauen Untersuchung. Ich fand in Physcia parietina und Anaptychia ciliaris (frisch gesammelt im Dezember 1866 nach regnerischer Witterung) zwei günstige Objecte und war nicht wenig erstaunt, hier die eben erwähnten, characteristischen Kennzeichen von Cystococcus wieder zu finden. Sowohl der Zellkern, den ich früher übersehen hatte*), als der excentrische helle Raum, den bis jetzt kein anderer Beobachter wahrgenommen, war bei der Mehrzahl der Gonidien in ganz übereinstimmender Weise ausgebildet, nur dass die Grösse des hellen Raumes im Durchschnitt etwas geringer war, als bei dem untersuchten Cystococcus. In jugendlichen, lebenskräftigen Gonidien zeigte der Zellkern die nämliche grüne Färbung, in ältern war er farblos, stärker und unregelmässiger conturirt, nicht selten auch hohlkugelig, aber ohne Stärkeeinschlüsse. Form- und Grössenverhältnisse, Membrandicke, Färbung des Inhalts und Verhalten gegen chemische Reagentien sind ohnehin schon nach früheren Darstellungen übereinstimmend.

Bei der Theilung wird der Zellkern resorbirt und es entstehen in den Theilzellen neue Kerne. Diess geschieht je nach Umständen bald in früheren, bald in etwas vorgerückteren Entwicklungsstadien. Man trifft z. B. häufig in 8 Zellen getheilte Gonidien von circa 18 Mik. im Durchmesser ohne Kerne in den Theilzellen, während diese letztern in andern Gruppen von gleicher Form und Grösse bereits ausgebildet sind. Es kommt sogar hie und da vor, dass ein noch ungetheiltes Gonidium neben dem unveränderten alten Kern bereits einen oder zwei kleine, zart contourirte Kerne angelegt hat, welche offenbar für die Tochterzellen bestimmt sind.

An zweigetheilten Zellen, denen man hin und wieder begegnet, sah ich den excentrischen hellen Raum öfters noch erhalten; die Scheidewand ging alsdann immer durch diesen Raum oder setzte sich wenigstens seitlich an denselben an. Bei weiter getheilten Gonidien, namentlich bei Gruppen von 8 Zellen, konnte ich eine Unterbrechung der grünen Färbung nicht mehr entdecken.

---

*) Die Flechten, die ich früher behufs Untersuchung der Gonidien im frischen Zustande gesammelt hatte, waren für diesen Zweck offenbar sehr ungünstig; wahrscheinlich waren die Kerne in der Mehrzahl der Gonidien resorbirt. Nur so kann ich es mir erklären, dass ich einen Zellkern, dessen Vorhandensein schon Nylander behauptet hatte, nicht finden konnte. Wo derselbe, wie in den neulich untersuchten Flechten, deutlich ausgebildet ist, kann von einem Uebersehen keine Rede sein.

Alles zusammen genommen wüsste ich in der That nicht, was sich vom anatomischen Standpunkt aus gegen die Annahme, dass die in Rede stehenden Flechtengonidien mit Cystococcus identisch seien, einwenden liesse.

Was nun zweitens Pleurococcus betrifft, so liegt das Characteristische dieser Gattung im Gegensatz zu Cystococcus hauptsächlich in der abweichenden Vermehrungsweise (s. die Darstellung Nägeli's a. a. O. Taf. IV. E), im Mangel eines Zellkerns (Chlorophyllbläschens) und eines excentrischen hellen Raumes und in der beträchtlich geringern Grösse. Das Streben nach Abrundung macht sich hier in den Theilzellen viel rascher geltend als bei Cystococcus, indem die Kugelform der Mutterzelle nach stattgefundener Theilung bald verloren geht: es bilden sich verschiedengestaltige Gruppen, in welchen die Theilzellen stets mehr oder weniger nach aussen vorspringen. — Aehnliche Gruppirungen und entsprechende Grössenverhältnisse beobachtet man nun auch bei Flechtengonidien hin und wieder, so z. B. bei einigen Arten von Endocarpon, (E. psoromoides, miniatum u. a.), sowie ferner bei verschiedenen Krustenflechten, und nach neueren Beobachtungen an Herbarienexemplaren fehlt hier auch der Zellkern. Die Frage erheischt indess eine genauere Untersuchung der frischen Pflanzen, die mir zur Zeit nicht zu Gebote stehen. Vorläufig sei also nur bemerkt, dass, soweit die Beobachtungen reichen, ein wesentlicher Unterschied zwischen Pleurococcus und den fraglichen Gonidien nicht besteht.

Für die übrigen Parallelen ist eine nähere Begründung im Allgemeinen nicht nothwendig; es handelt sich hier nur noch um die spezielle Durchführung, namentlich in Betreff der blaugrünen Gonidien bei Endocarpon, Pannaria u. a., eine Aufgabe die allerdings auf Grund der bisherigen Beobachtungen nicht vollständig gelöst werden kann, aber wahrscheinlich noch gelöst werden wird. — Bezüglich der Gattung Exococcus sei hier nur bemerkt, dass dieselbe bis jetzt nicht näher beschrieben ist. Ich kenne sie nach Zeichnungen und Notizen von Nägeli, wonach die Uebereinstimmung unzweifelhaft erscheint; das wichtigste Merkmal liegt ohnehin in der Vermehrung durch Abschnürung, die bei beiden in gleicher Weise erfolgt (vgl. Nägeli, einz. Alg. Exococcaceen p. 40). Ob übrigens die Pflanze an den Felsen des Mittelmeeres, den Standorten der Roccellen in entsprechender Menge sich vorfindet, ist mir nicht bekannt.

Gehen wir jetzt, nach Darlegung der Gründe, welche für die Algennatur der Flechtengonidien sprechen, zu den Thatsachen über, die man gegen dieselbe vorbringen kann, so dürfte sich Alles, was hier nur einigermassen ins Gewicht fällt, auf folgende zwei Punkte reduciren.

1) In vielen Fällen, wo noch ungetheilte Gonidien in dichtfilzigen oder selbst interstitienlosen jugendlichen Geweben auftreten, würde man schwer begreifen, wie dieselben — wenn es bloss Theilzellen anderer sind — dahin gelangen konnten. Man denke z. B. an das Auftreten der Gonidien bei Sporastatia Morio (s. meine Abhandlung in Flora 1866) und andern Krustenflechten, ferner an die Gonidienbildung im untern Theil des Hypotheciums bei manchen strauch- und laubartigen Flechten, dessgleichen in jungen Adventivästen bei Usnea, Bryo-

pogon etc. (verdient übrigens mit Rücksicht hierauf nähere Untersuchung). Diese Vorkommnisse würden jedenfalls voraussetzen, dass eine Wanderung der Theilgonidien durch mehr oder minder dichtes Fasergeflecht und zwar oft in einer dem Zuge der Schwerkraft entgegengesetzten Richtung stattfinde, was vor der Hand, auch wenn man die Copulation nach Belieben zu Hülfe nimmt, kaum möglich erscheint.

2) Die Annahme, dass die Entwicklung des Thallus und der Apothecien bei der Mehrzahl der strauchartigen Flechten oder vielmehr bei den betreffenden Pilzen von einer und derselben Nährpflanze (Cystococcus humicola) abhängig sei, während doch sonst die Schmarotzerpilze auf sehr verschiedenen Nährpflanzen vorzukommen pflegen, muss à priori als unwahrscheinlich (aber keineswegs als unmöglich) bezeichnet werden. — Auch die vollständige Ueberwucherung der Nährpflanze, wobei die letztere lebhaft, ja in der Regel lebhafter als sonst fortvegetirt, wäre immerhin eine auffallende Eigenthümlichkeit.

Man mag nun das Gewicht der Gründe und Gegengründe höher oder niedriger taxiren, es lässt sich in keinem Falle in Abrede stellen, dass die Annahme einer Parasitenwucherung, als Hypothese ausgesprochen, ihre Berechtigung hat und desshalb eine genauere Prüfung verdient. Ich hatte denn auch bereits angefangen, dieser Frage meine Aufmerksamkeit zuzuwenden; die Untersuchungen wurden jedoch durch meine Uebersiedlung nach Basel unterbrochen. Ich werde dieselben sobald als möglich wieder aufnehmen und behalte mir vor, die Resultate bei einer andern Gelegenheit mitzutheilen.

Erklärung der Tafeln.

Taf. XXII.

Fig. 1—7. Collema intestiniforme Schaer.

Fig. 1 (50). Durchschnitt durch den Thallus und eine kugelförmige Prolification, in Kali erhitzt. Im mittleren Theil des Thallus verlaufen die Fasern vorherrschend in der Längsrichtung, im peripherischen dagegen und in der Prolification senkrecht zur Oberfläche.

Fig. 2 (515) Randstück der Prolification in Fig. 1. Zeigt die peripherischen Verästlungen der Fasern und ihre Scheitelzellen.

Fig. 2b (c. 600). Endstück einer Faser mit ihren Verzweigungen. Die Scheitelzelle links ist stärker angeschwollen.

Fig. 3 (500). Eine Gonidienkette, die mit einer Faser in Verbindung steht. Früher glaubte ich das hier bestehende Verhältniss als ein genetisches deuten zu dürfen. Nach neueren Beobachtungen dagegen und nach wiederholter Durchmusterung meiner hierauf bezüglichen Skizzen und Zeichnungen aus früheren Jahren halte ich es für wahrscheinlicher, dass hier mit Rücksicht auf die Art und Weise des Ansatzes, wonach die Gonidienkette als Fortsetzung des Stieles erscheint, ein Irrthum obwaltet. Der vermeintliche Stiel und die sich anschliessenden Faserzellen konnten in einigen Fällen abgestorbene Gonidien gewesen sein, die den Faserzellen oft täuschend ähnlich sehen; in andern war vielleicht die Kette nach unten umgebogen und abgeschnitten u. dgl. Der Zusammenhang an und für sich ist aber in allen Fällen unzweifelhaft.

Fig. 4 (500). Stück einer Gonidienkette mit einer Grenzzelle.

Fig 5 (50). Radialschnitt durch den Thallusrand. Zeigt den vorherrschend orthogonal-trajectorischen Faserverlauf.

Fig. 6 (500). Stück eines Durchschnittes durch den Thallus. Die Fasern sind zunächst der Oberfläche vielfach verästelt. Im untern Theil der Zeichnung bemerkt man eine geschlossene Figur.

Fig. 7 (500). Gonidienkette mit ihrer Gallerthülle, in Kali gekocht, ausgewaschen und mit Jod gefärbt.

Fig. 8—10. Lempholemma compactum.

Fig. 8 (500). Gonidienkette mit einer Copulationszelle, letztere ausnahmsweise mit 3gliedrigem Stiel; die Gonidien mit Jod gefärbt.

Fig. 9 (370) Durchschnitt durch den Thallusrand, nach Zusatz von Kali. Die Membranen sind zunächst der Oberfläche gelblich gefärbt, die Fasern, wie in Fig. 2, mehrfach verästelt. Im Innern beobachtet man Gonidienketten mit Copulationszellen.

Fig. 10 (500). Vielgliedrige Gonidienkette mit Copulationszellen in verschiedenen Entwicklungsstadien, nach Zusatz von Jodtinctur. a eine Zelle, die sich eben mit einem kurzen Faserast copulirt hat; b eine zweite, die bereits eine schwach conturirte Membran besitzt; c eine dritte mit deutlicher, doppelt conturirter Membran und unverändertem Inhalt; d eine etwas grossere Zelle, die sich mit zwei Faserästen copulirt hat; e eine Zelle, deren Inhalt zusammengeschrumpft ist und in Jodtinctur farblos bleibt. — Von den Fasern wurden bloss die Zellhöhlungen gezeichnet.

Fig. 11. Lempholemma franconicum.

Fig. 11 (600). Gonidienkette mit einer Copulationszelle und einer gewöhnlichen Grenzzelle.

Taf. XXIII.

Fig. 1. Mallotium tomentosum.

Fig. 1 (515). Durchschnitt durch den Thallus. Lagerunterseite mit Haargebilden.

Fig. 2. Leptogium cyanescens.

Fig. 2 (500). Eine Gonidienkette, bei welcher ausser der Membran der einzelnen Zellen noch ein zarter Contour (die Membran der Mutterzellen) bemerkbar ist.

Fig. 3—5. Omphalaria Girardi.

Fig. 3 (50). Radialschnitt durch den Thallus. Zeigt den vorherrschend orthogonal-trajectorischen Faserverlauf und die Lagerung der Gonidien.

Fig. 4 (500). Gonidien, die sich in zwei oder mehrere Tochterzellen getheilt haben. a nicht lange nach dem Auftreten der ersten Scheidewand; die Stielzelle ist bereits dichotomisch verzweigt. b ein vorgerückteres Stadium: die Membran der Mutterzelle hat sich in zwei dichte Schichten gespalten, die durch eine mittlere wasserreichere getrennt sind; die innere dichte Schicht erscheint als Membran der Tochterzellen, die äussere als äusserer Contur. c die beiden Tochterzellen haben sich wieder getheilt und bereits ein ähnliches Stadium, wie die Mutterzelle in b, erreicht. d ein Gonidium, das sich in 8 Zellen getheilt hat; Stiel wiederholt dichotomisch verzweigt.

Fig. 5 (500). Bildung der Schichten in den Gonidienmembranen. Die dichteren Schichten sind dunkel, die wasserreicheren hell gehalten; der Zellinhalt ist von der Wandung zurückgetreten. Die Stadien a, b entsprechen den gleichnamigen in Fig. 4; in c hat sich die innere dichte Schicht abermals in zwei gespalten.

Fig. 6—9. Phylliscum endocarpoides.

Fig. 6 (350). Ein Gonidium mit deutlich geschichteter Membran, nach Zusatz von Jod.

Fig. 7 (350). Ein Gonidium mit seinem Stiel, in Jodlösung.

Fig. 8 (350). Ein zweigetheiltes Gonidium mit gabelig verzweigtem Stiel, in Jodlösung. a von der Seite, b von oben; die eine der beiden Tochterzellen hat sich wieder getheilt.

Fig. 9 (350). Ein zweigetheiltes Gonidium nach Trennung der beiden Tochterzellen. Eine gemeinsame Hülle, wie sie bei Omphalaria vorkommt, beobachtet man hier nicht.

Fig. 10—13. Lecothecium corallinoides.

Fig. 10 (500). Durchschnitt durch eine junge Thallusanlage, nebst einem kleinen Theil des bläulichen Protothallus. Die Thallusanlage lässt bereits eine Rindenschicht und ein kleinzellig-parenchymatisches Markgewebe mit Gonidienketten unterscheiden.

Fig. 11 (300). Durchschnitt durch ein Thallusschüppchen, nach Erhitzen in Kali. Die Gonidienketten treten nach dieser Behandlung am deutlichsten hervor, während das Gewebe ohne Kalizusatz ein schärferes Bild gewährt.

Fig. 12 (500). Gonidiengruppen, welche durch Theilung nach verschiedenen Richtungen des Raumes entstanden sind. In b sind die zwei Zellen rechts nur locker mit den Zellen links verbunden; in c hat eine vollständige Trennung entsprechender (nach oben gekehrter) Zellen stattgefunden, so dass die ganze Gruppe als backenformig gekrümmte Kette erscheint. (Vgl. den Text).

Fig. 13 (500). Gonidienkette, nach Kochen des Präparates in Kali durch Druck isolirt.

Fig. 14—17. Ephebe pubescens.

Fig. 14 (400). Zwei Querschnitte durch die Thallusspitze. Die peripherischen Fasern erscheinen als kleine Höhlungen in einer homogenen Gallerthülle. In a sind dieselben von einer Seite, in b von drei Seiten her zwischen die Gonidien eingedrungen.

Fig. 15 (500). Längsansicht der Thallusspitze nach Erhitzen in Kali. Die peripherischen Fasern verlaufen bis zur Scheitelzelle; ihre Verästlungen dringen schon frühzeitig zwischen die Gonidien ein.

Fig 16 (500). Gonidiengruppen aus dem ältern Thallus, nach Erhitzen in Kali mit Jod behandelt. Die 4 kleineren Gruppen links gehören zusammen, sind aber stellenweise bereits durch hineinwachsende Fasern von einander getrennt.

Fig. 17 (500). Eine kleine Gonidiengruppe, d. h. eine in mehrere Theilzellen getheilte Mutterzelle.

Fig. 18—21. Coenogonium Linkii.

Fig. 18 (600). Ein stark übersponnener Thallusfaden, ausnahmsweise mit zahlreichen seitlich abgehenden Faserästen.

Fig. 19 (600). Querschnitt durch einen ähnlichen Thallusfaden.

Fig. 20 (300). Ein Thallusfaden mit rechtwinkelig abgehenden Aesten, nach Erhitzen in Kali. Die umspinnenden Fasern sind nicht gezeichnet.

Fig. 21 (500). Scheiteltheil eines Thallusfadens. Die zarten peripherischen Fasern verlaufen bis zur Wölbung der Scheitelzelle.

Fig. 22. Spilonema paradoxum.

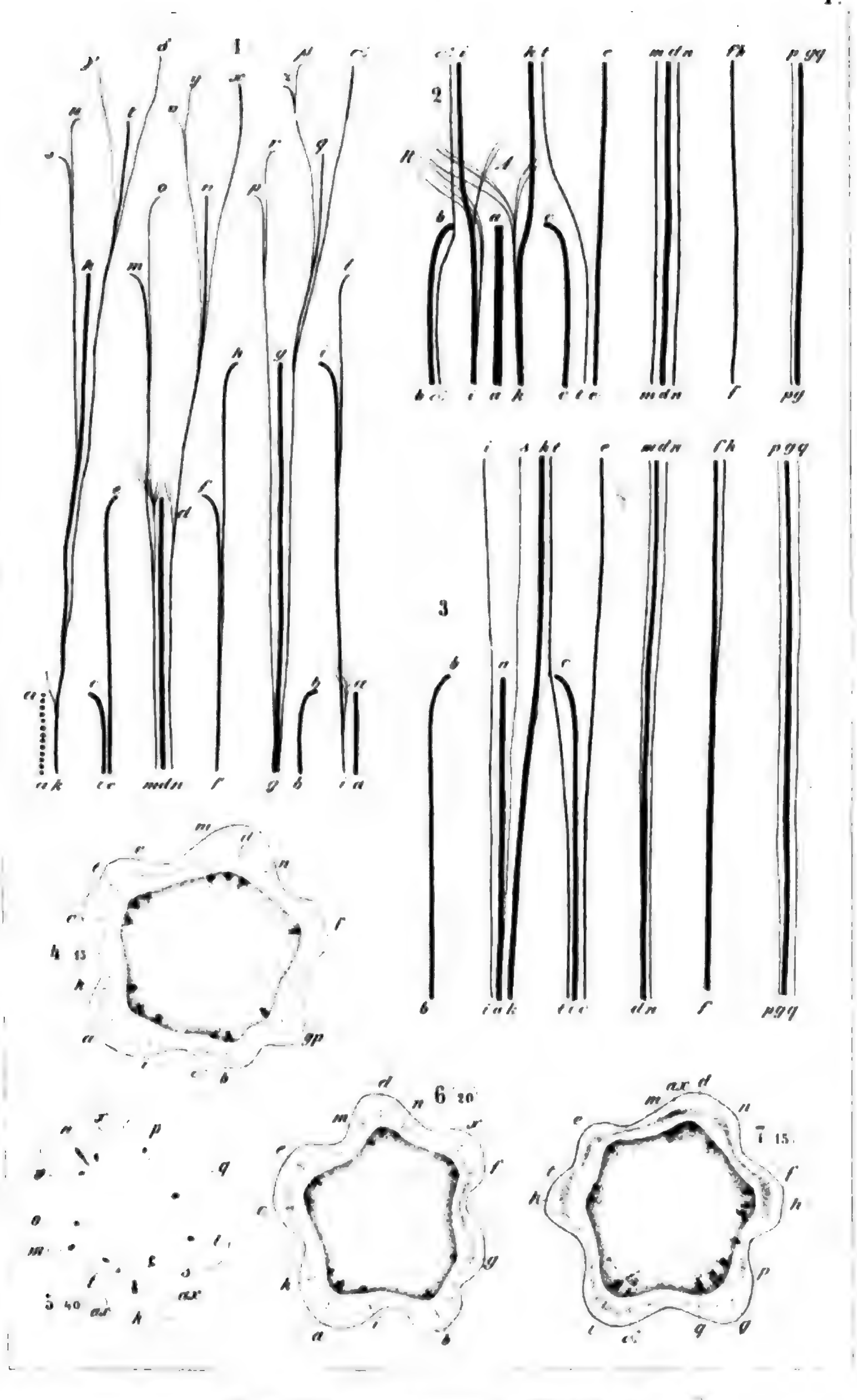
Fig. 22 (500). Längsansicht der Thallusspitze nach Kochen in Kali. Die peripherischen Fasern treten im Allgemeinen spärlicher auf, als bei Ephebe; im dargestellten Fall reichen sie nicht bis zum Scheitelgonidium.

Fig. 23—24. Psorotichia murorum.

Fig. 23 (500). Gonidiengruppen. a die 8 Theilzellen sind wie die Ecken eines Würfels gestellt. b Durchschnitt durch eine grössere Gruppe mit gestielten Theilzellen.

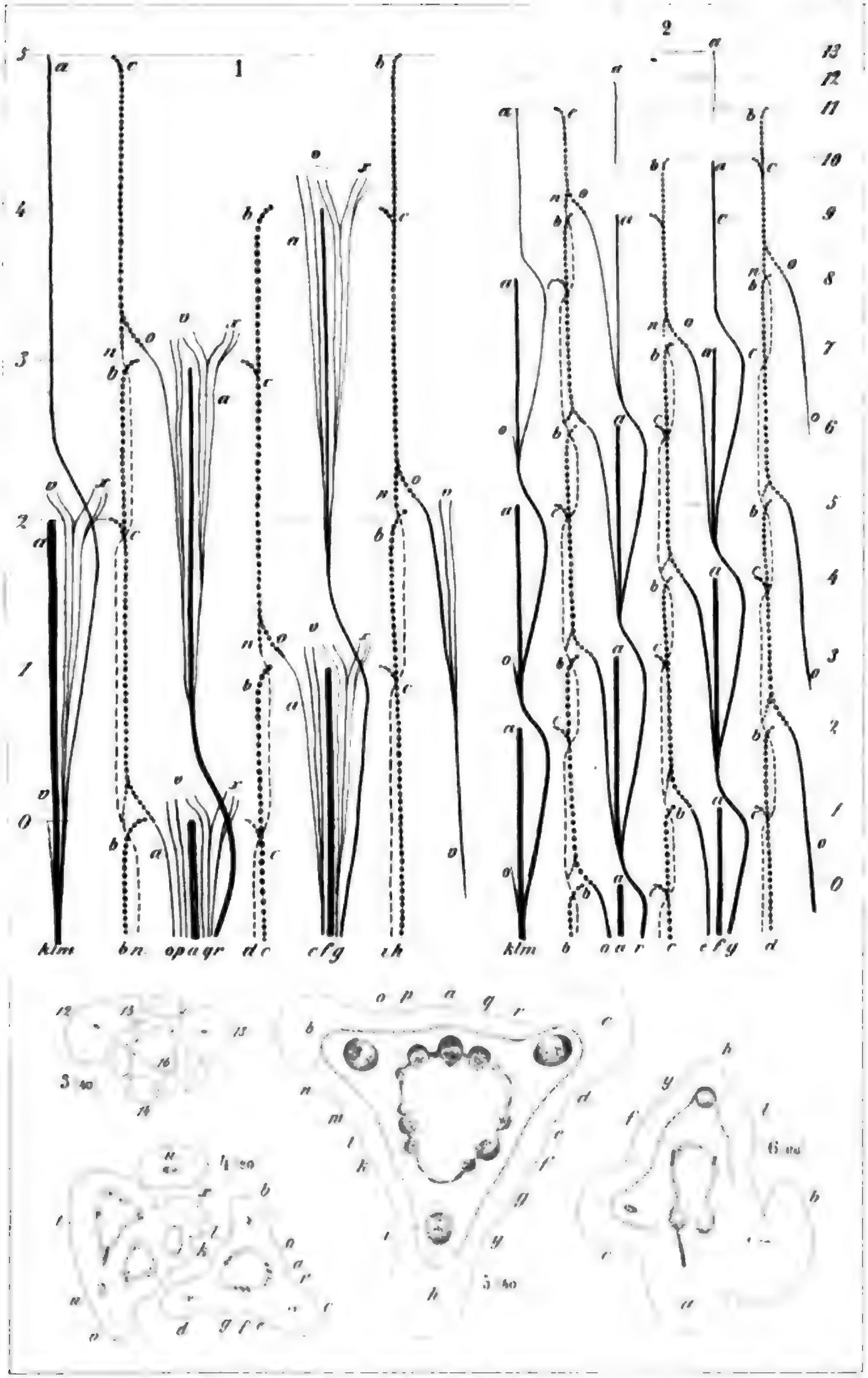
Fig. 24 (500). Zwei Gonidiengruppen mit verzweigten Stielzellen.

1.


1
2
3
4 15
5 40
6 20
7 15
a k
t c
m d n
f
g
b
i a
b c
i
a
k
c t c
m d n
f
p g
i a k
t c
d n
f
p g q
ax

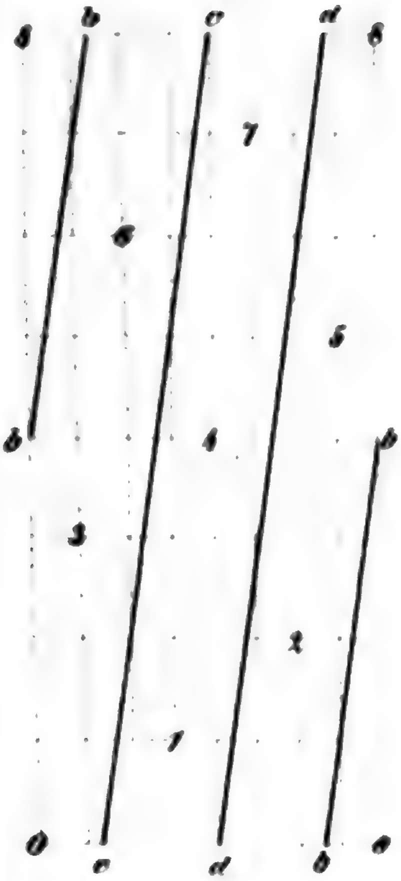
Cardiospermum inflatum.

II.

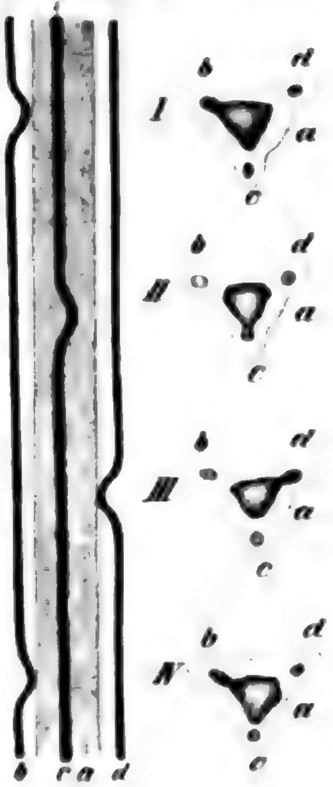

1
2
5
4
3
2
1
0
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
klm
bn
opaqr
dc
cfg
ih
klm
b
oar
c
efg
d
3 40
4 40
5 40
6 40

Urvillea ferruginea.

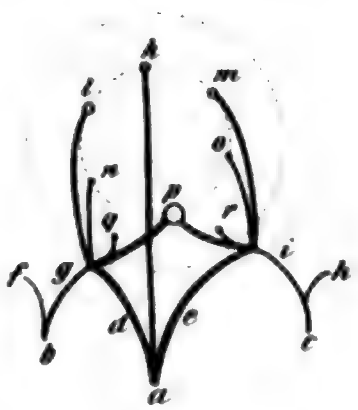
7


8
b
c
d
8
7
6
5
4
3
2
1
b
b
0
c
d
b
8

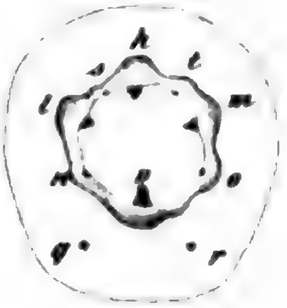
8


b c a d
I
II
III
IV
b c a d

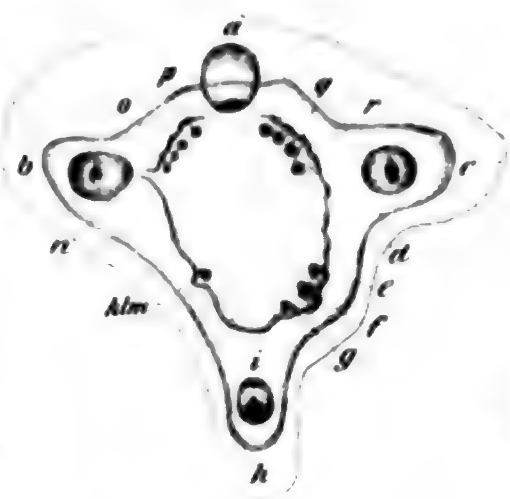
9


k
l
m
n
o
p
q
r
f
g
i
h
b
d
e
c
a

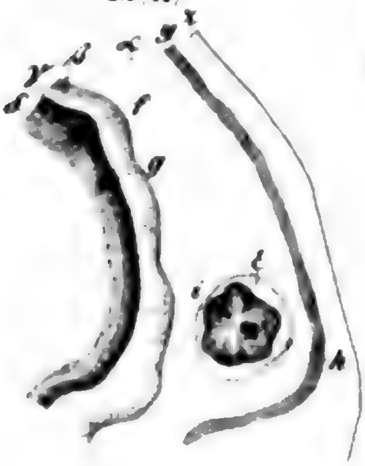
10 (16)


k
s
t
l
m
n
p
o
g
r

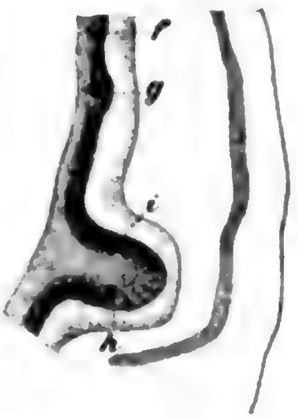
11 (16)


a
p
q
o
r
b
c
n
d
e
klm
f
g
i
h

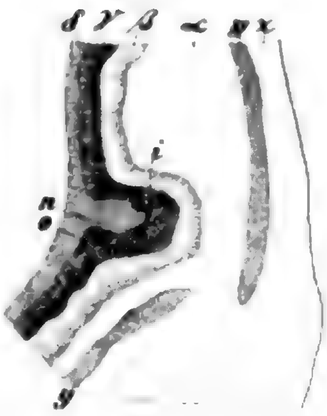
12 (16)


δ γ β α y x
f
g
t
i
h

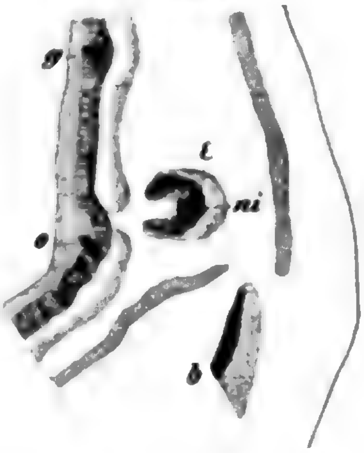
13 (16)



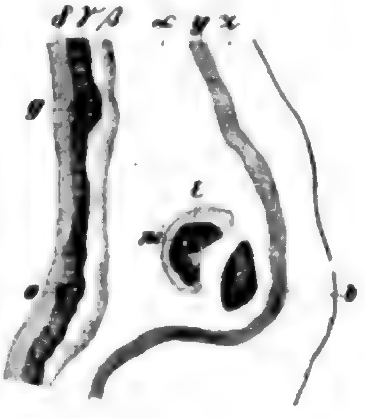
14 (16)


δ γ β α y x
i
n
o
g

15 (16)



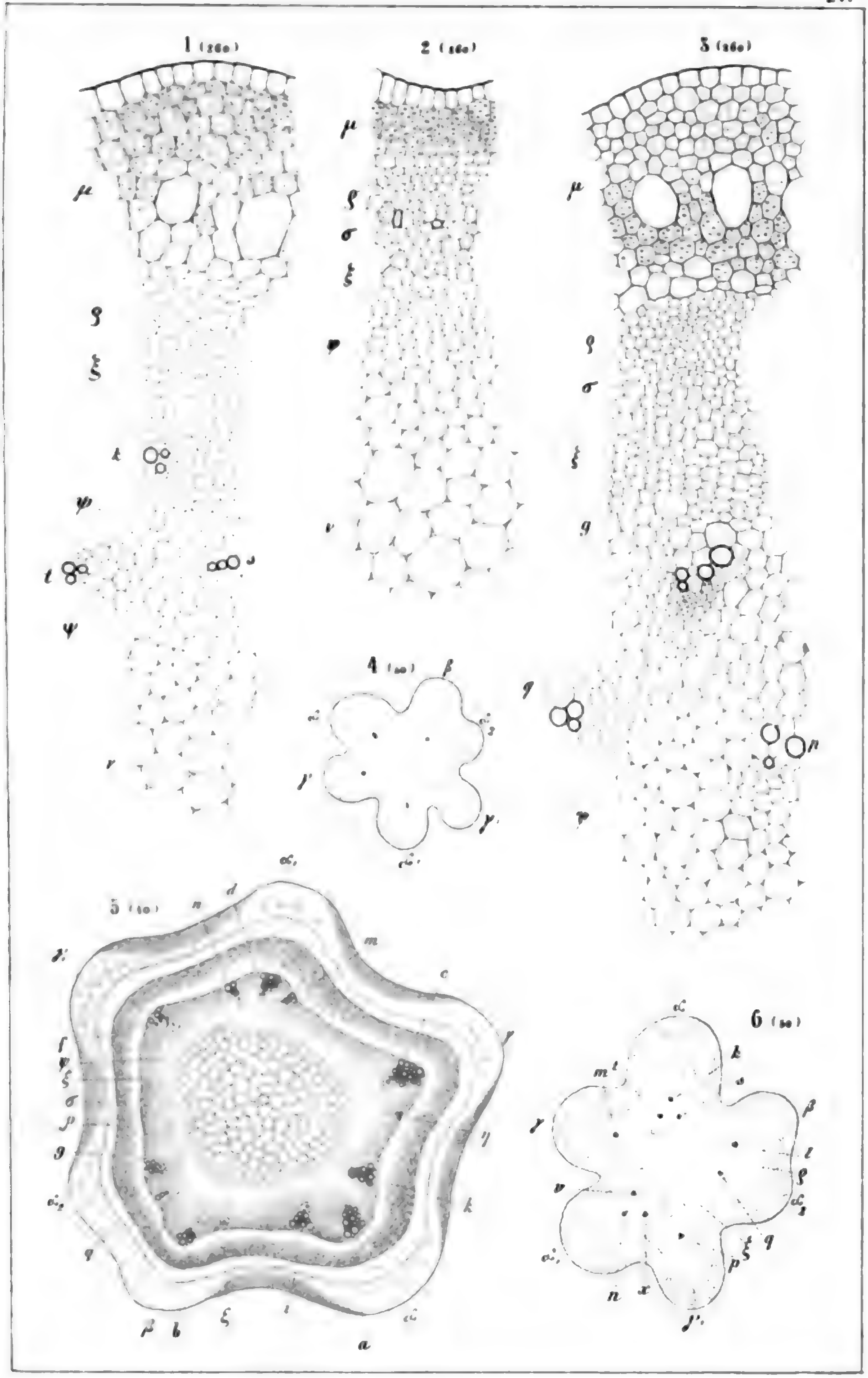
16 (16)


δ γ β α y x
g
t
m
o
b

S. Mensinger'sche lith. Anst. München.

Urvillea ferruginea.

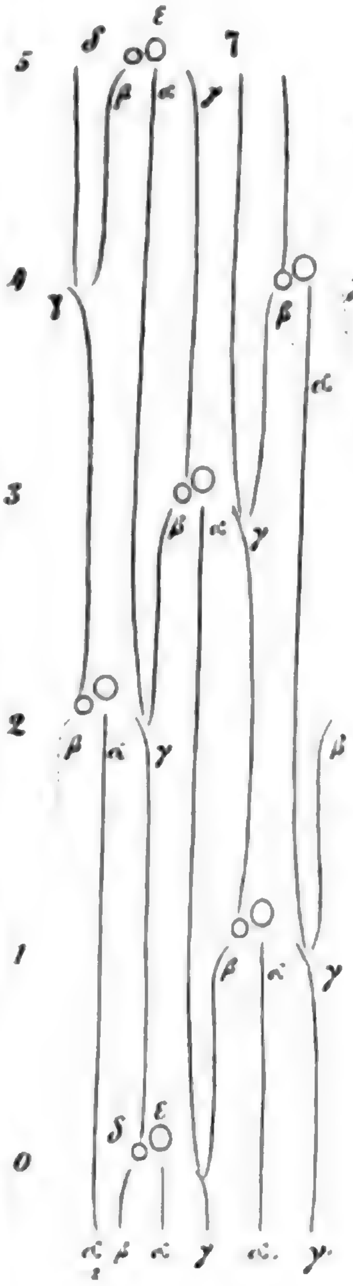
IV.


1 (260)
2 (260)
3 (260)
μ
ρ
σ
ξ
φ
ψ
ν
4 (10)
β
γ
5 (10)
n
d
m
c
k
a
b
6 (10)
k
l
p
n
x

Paullinia spec.

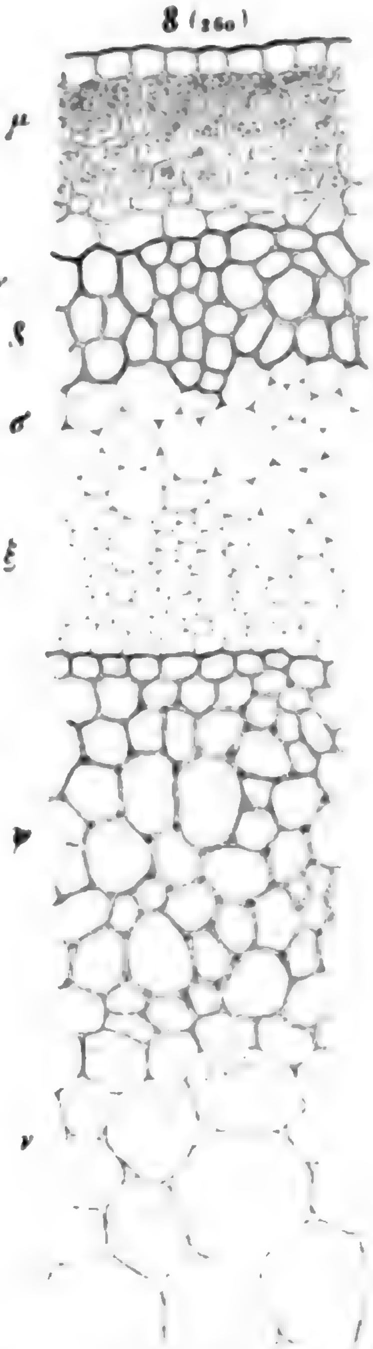
V.

7

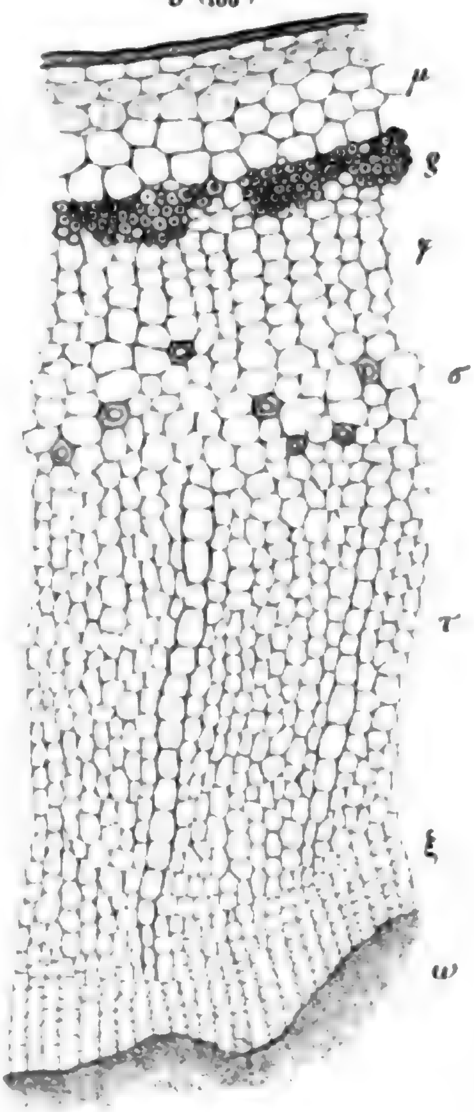


5
4
3
2
1
0
δ
ε
β
α
γ
β
α
γ
β
α
γ
β
α
γ
β
α
γ
β
δ
ε
α
β
α
γ
α
γ

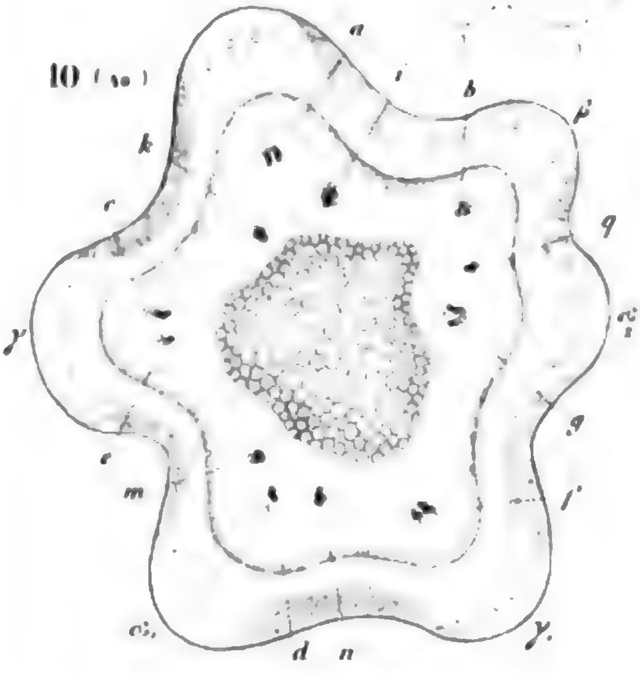
8 (260)



9 (100)

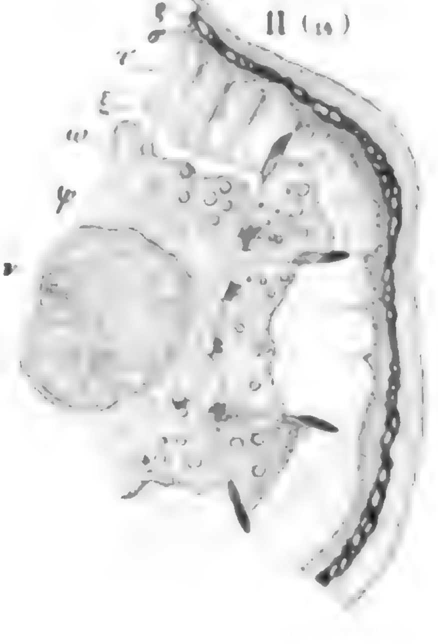


10 (10)

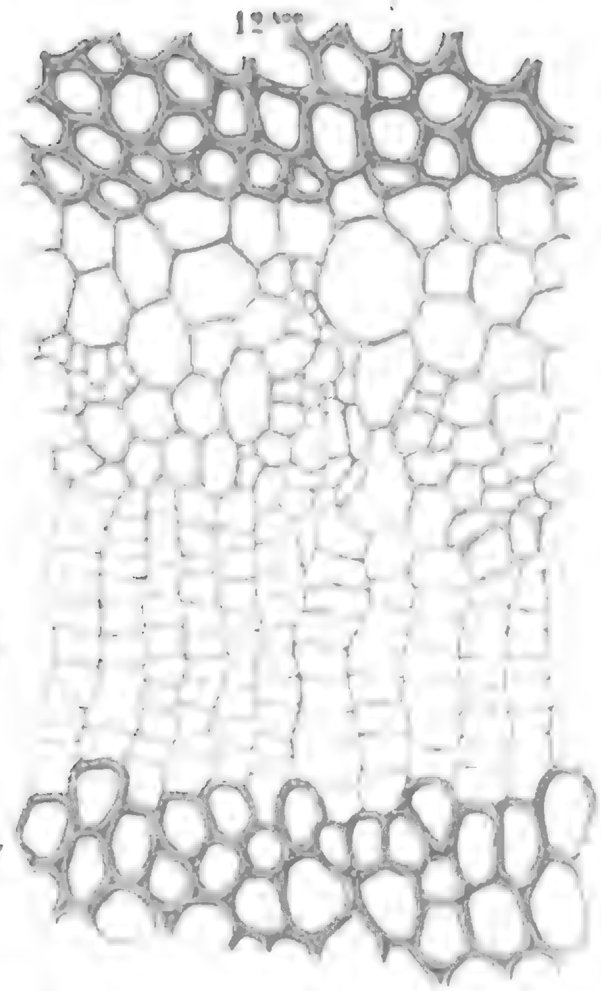


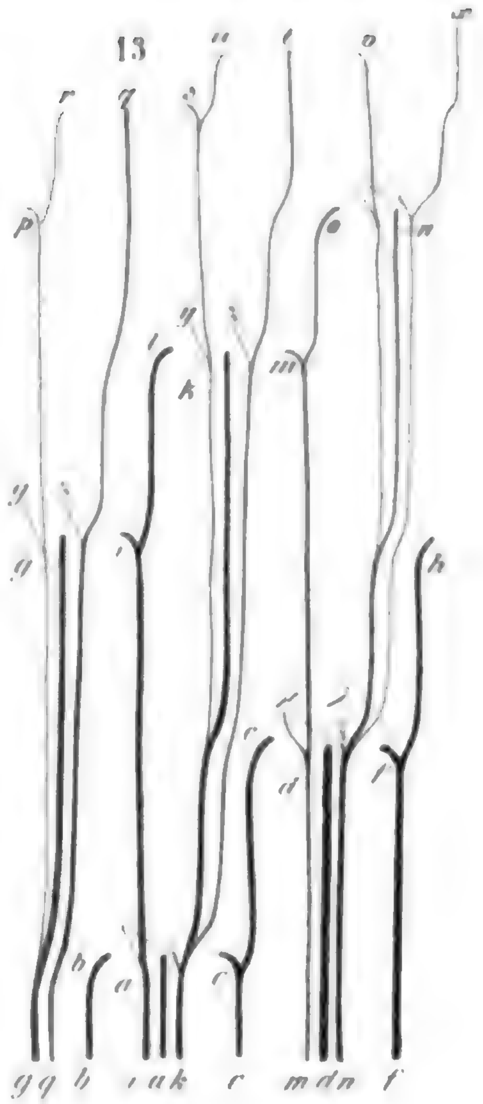
a
i
b
β
k
c
q
γ
α
g
e
m
f
α
d
n
γ

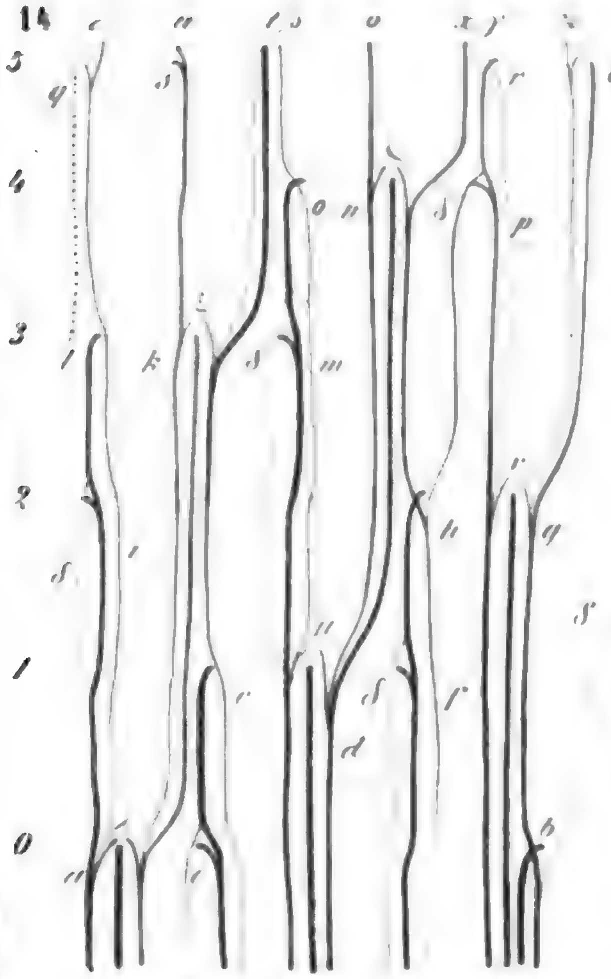
11 (14)

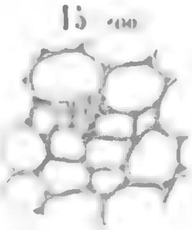


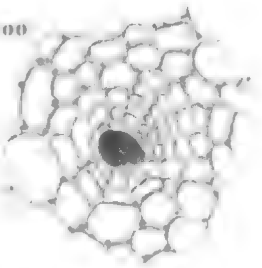
Paullinia spec.

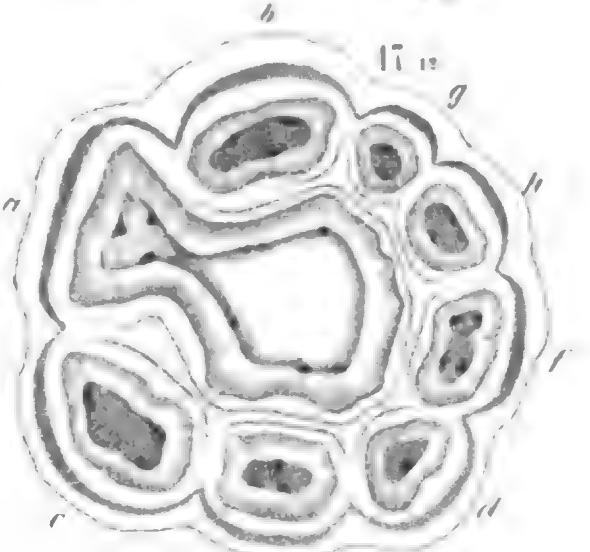



13
r q u t o x
p
g
k
m
h
c
d
f
b
a
g q b i a k c m d n f


14
c a t,s o x,y
5 4 3 2 1 0
q s o n δ p
l k δ m
i h
r
a
c f d
b
i a k δ c l m d n δ, t, s p g b q

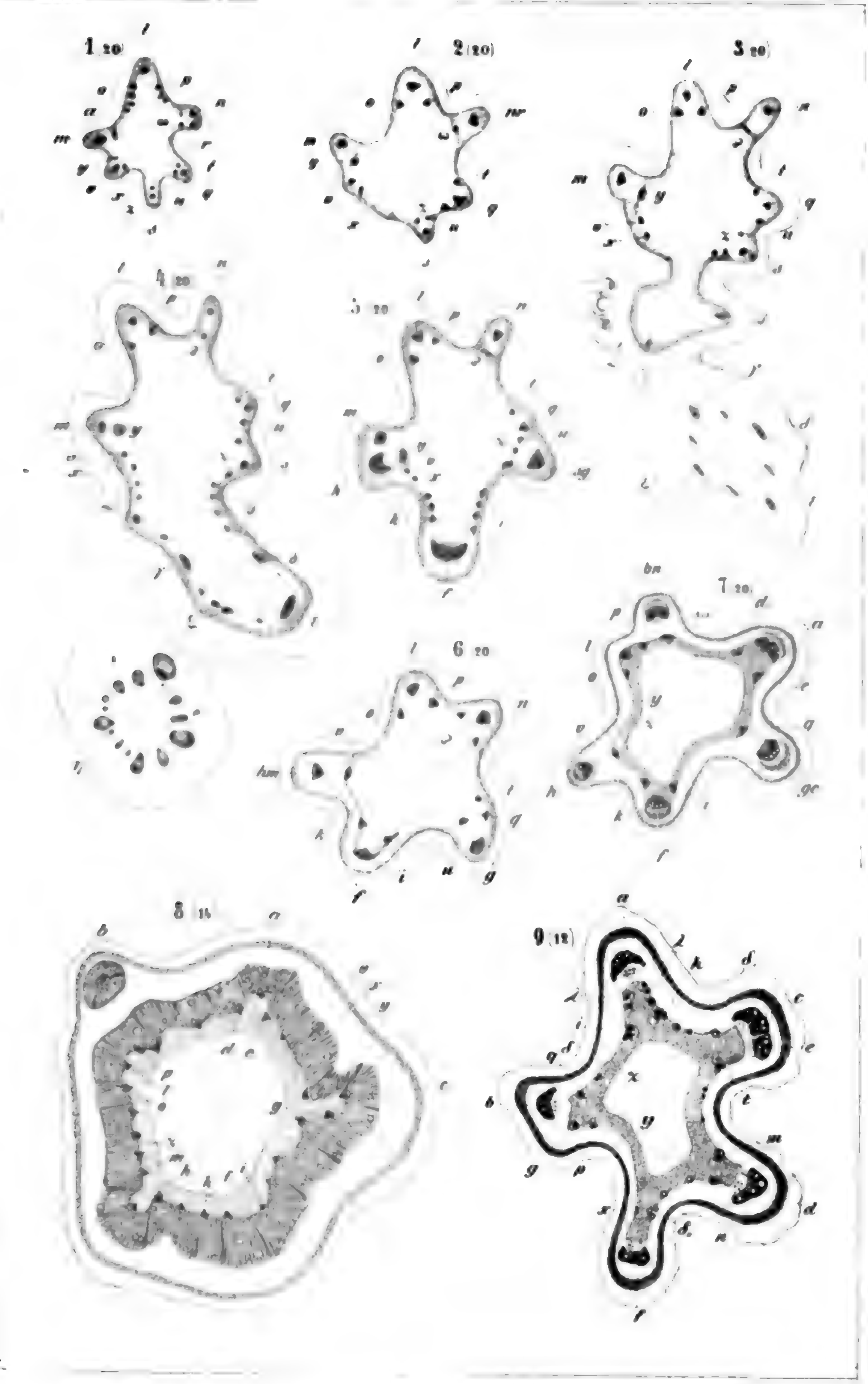




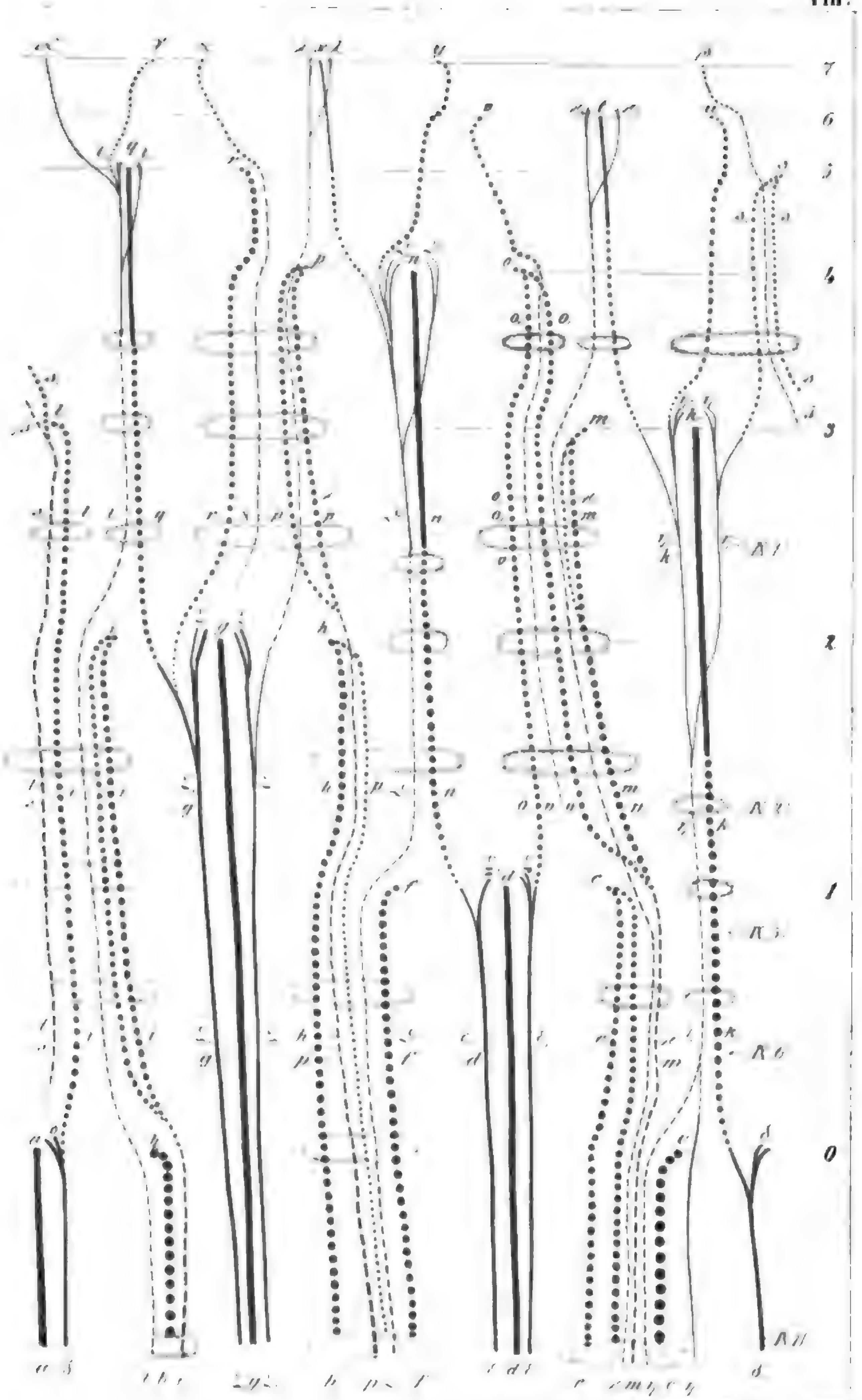

17 12
b
g
h
a
f
c
d
e

12, 13 Paullinia spec. 14 Serjania mexicana.
15 17 Serjania spec.

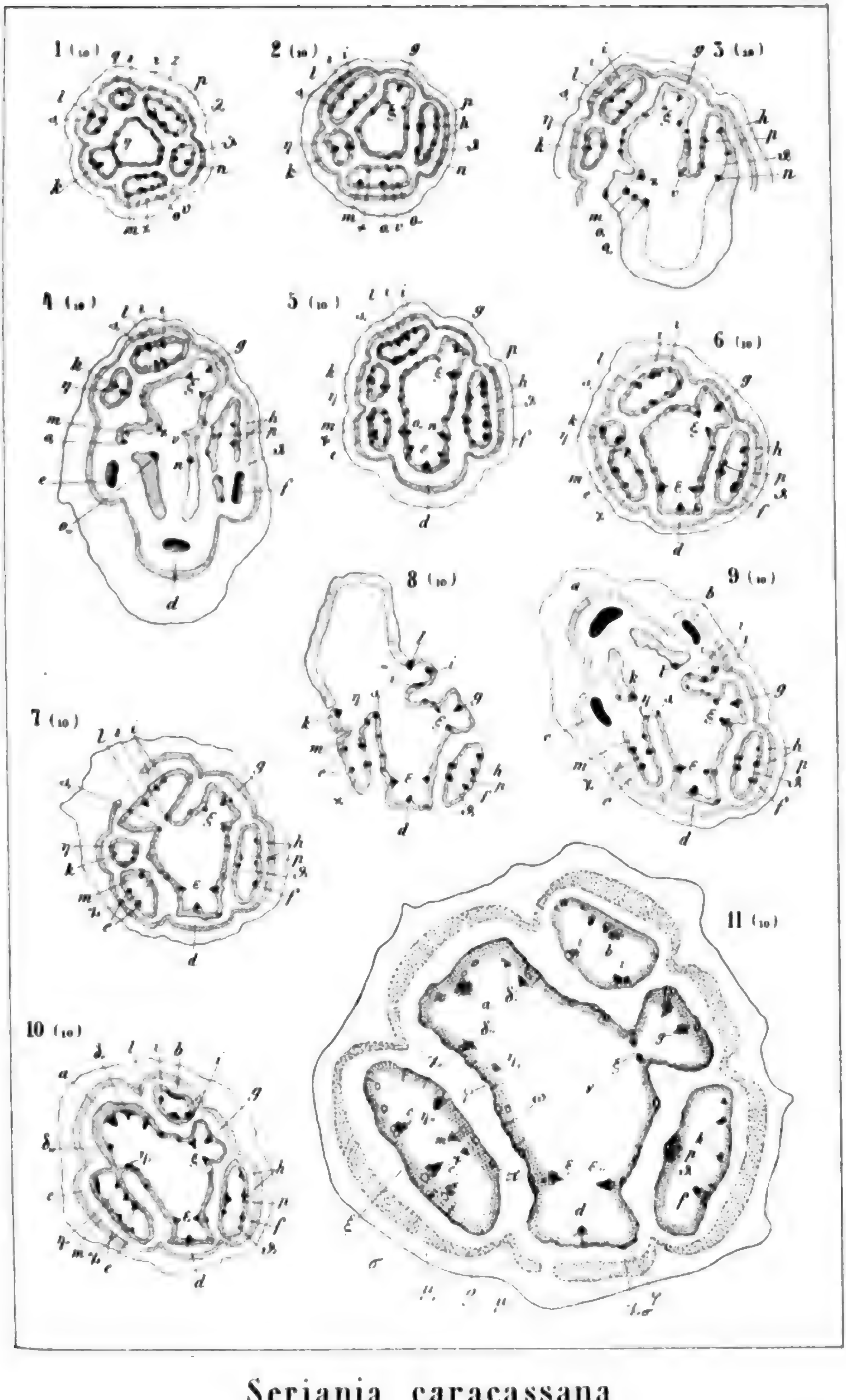
VII.


1 (20)
2 (20)
3 (20)
4 (20)
5 (20)
6 (20)
7 (20)
8 (15)
9 (12)

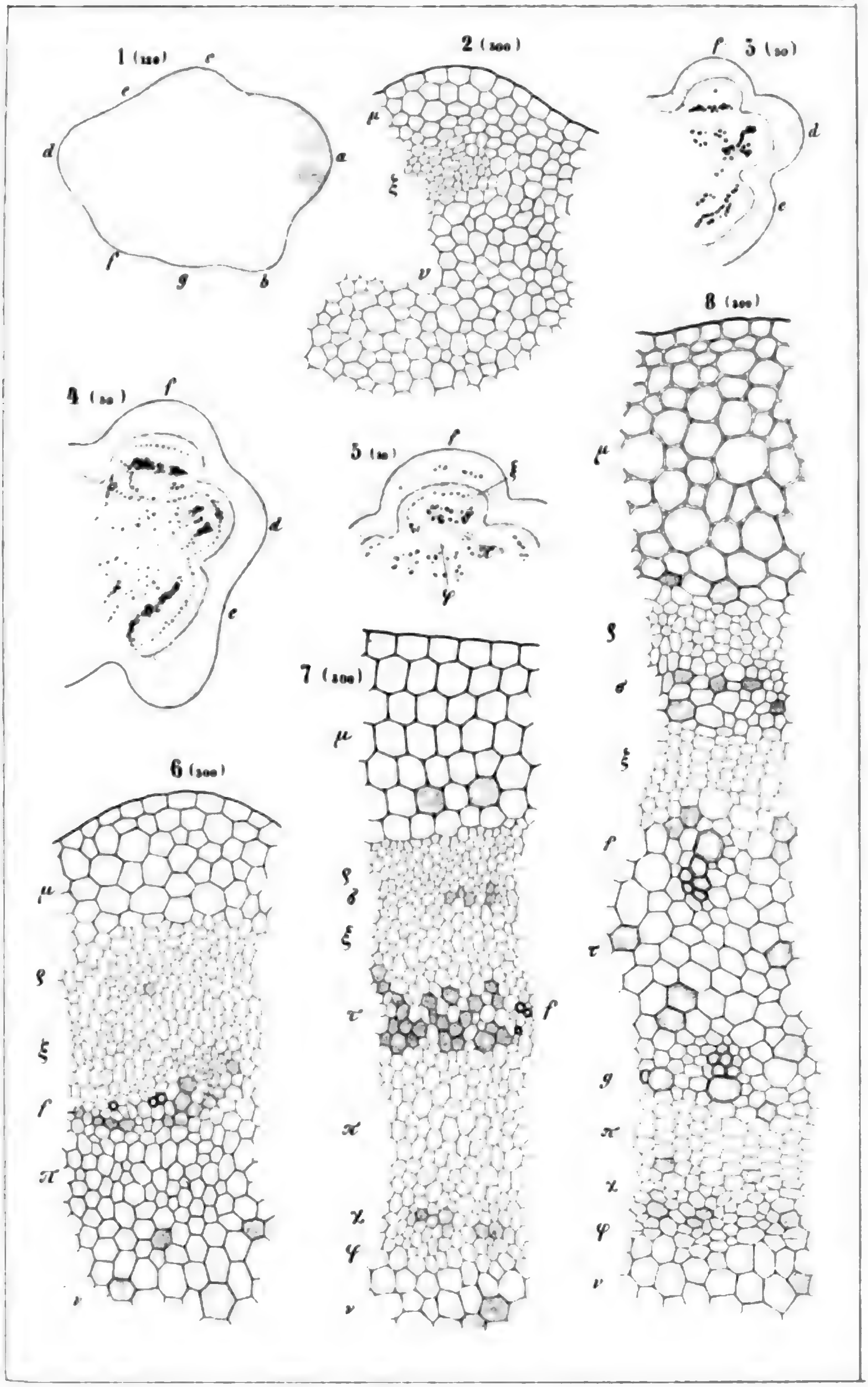
1-8 Paullinia alata. 9 Serjania mexicana.


7
6
5
4
3
2
1
0
K 1
K 2
K 5
K 6
K 11

Serjania caracassana.

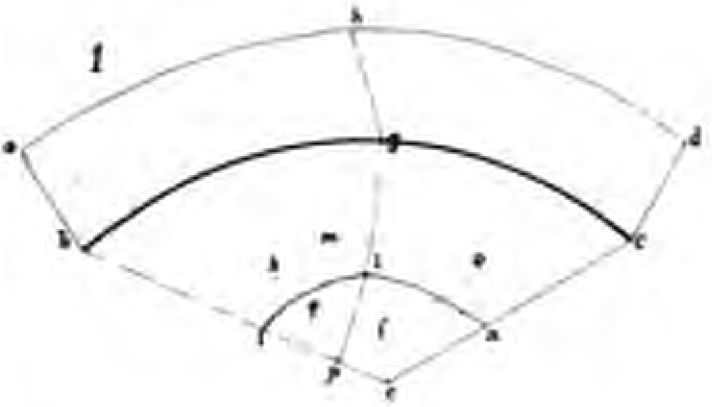

1 (10)
2 (10)
3 (10)
4 (10)
5 (10)
6 (10)
7 (10)
8 (10)
9 (10)
10 (10)
11 (10)
a
b
d
e
f
g
h
i
k
l
m
n
p
v
x
η
ξ
ε
δ
σ
μ

Serjania caracassana.

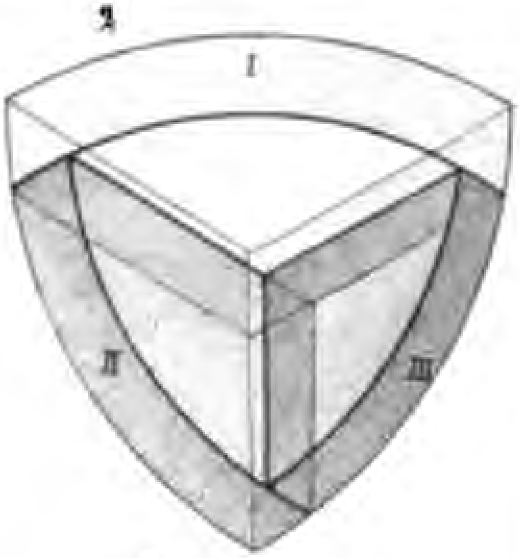

1 (120)
a
b
c
d
e
f
g
2 (300)
μ
ξ
ν
f
3 (30)
d
e
4 (30)
f
d
e
5 (30)
f
ξ
π
φ
6 (300)
μ
ρ
ξ
f
π
ν
7 (300)
μ
ρ
σ
ξ
τ
f
π
χ
φ
ν
8 (300)
μ
ρ
σ
ξ
f
τ
g
π
χ
φ
ν

Serjania caracassana.

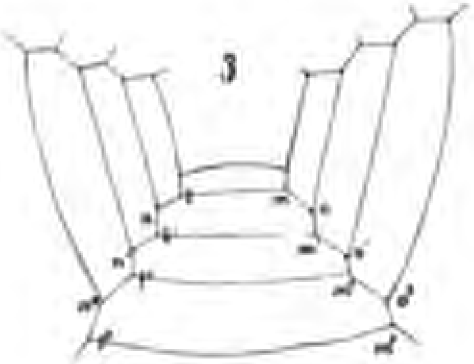
1


h
a
g
d
b
c
m
k
i
o
f
f
n
p
e

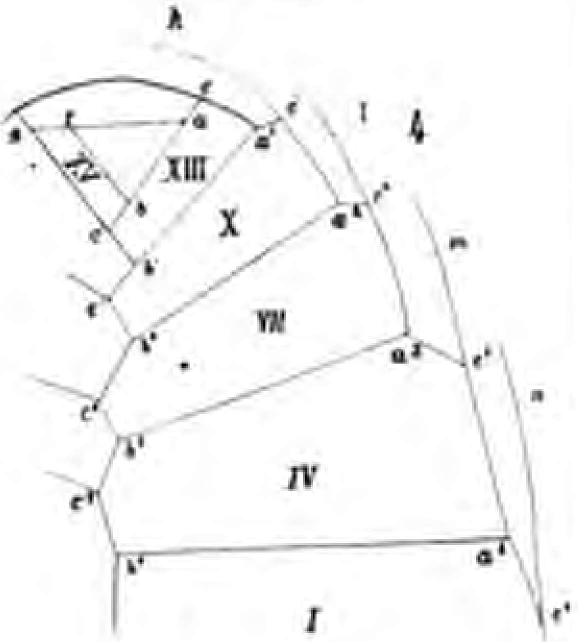
2


I
II
III

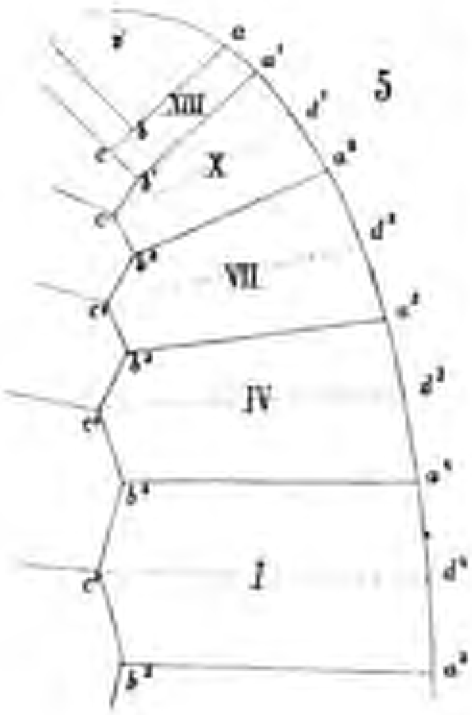
3


m
m
m
m
m

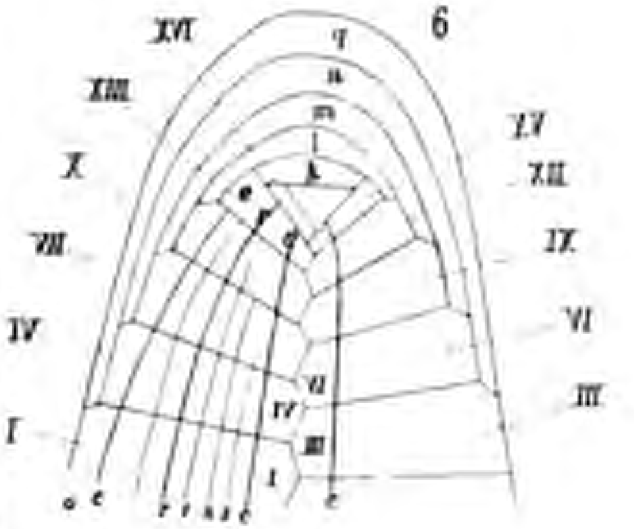
4


h
l
m
n
XIII
IV
X
VII
IV
I

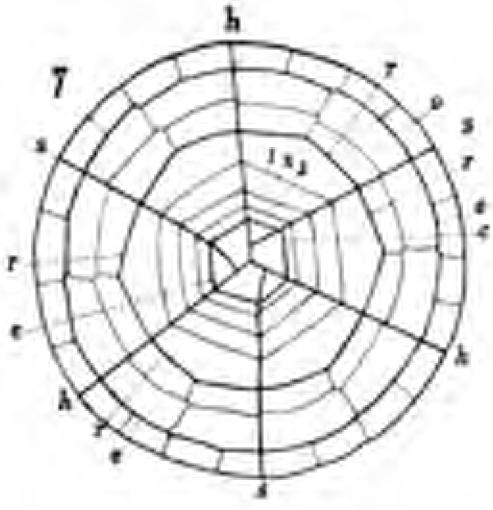
5

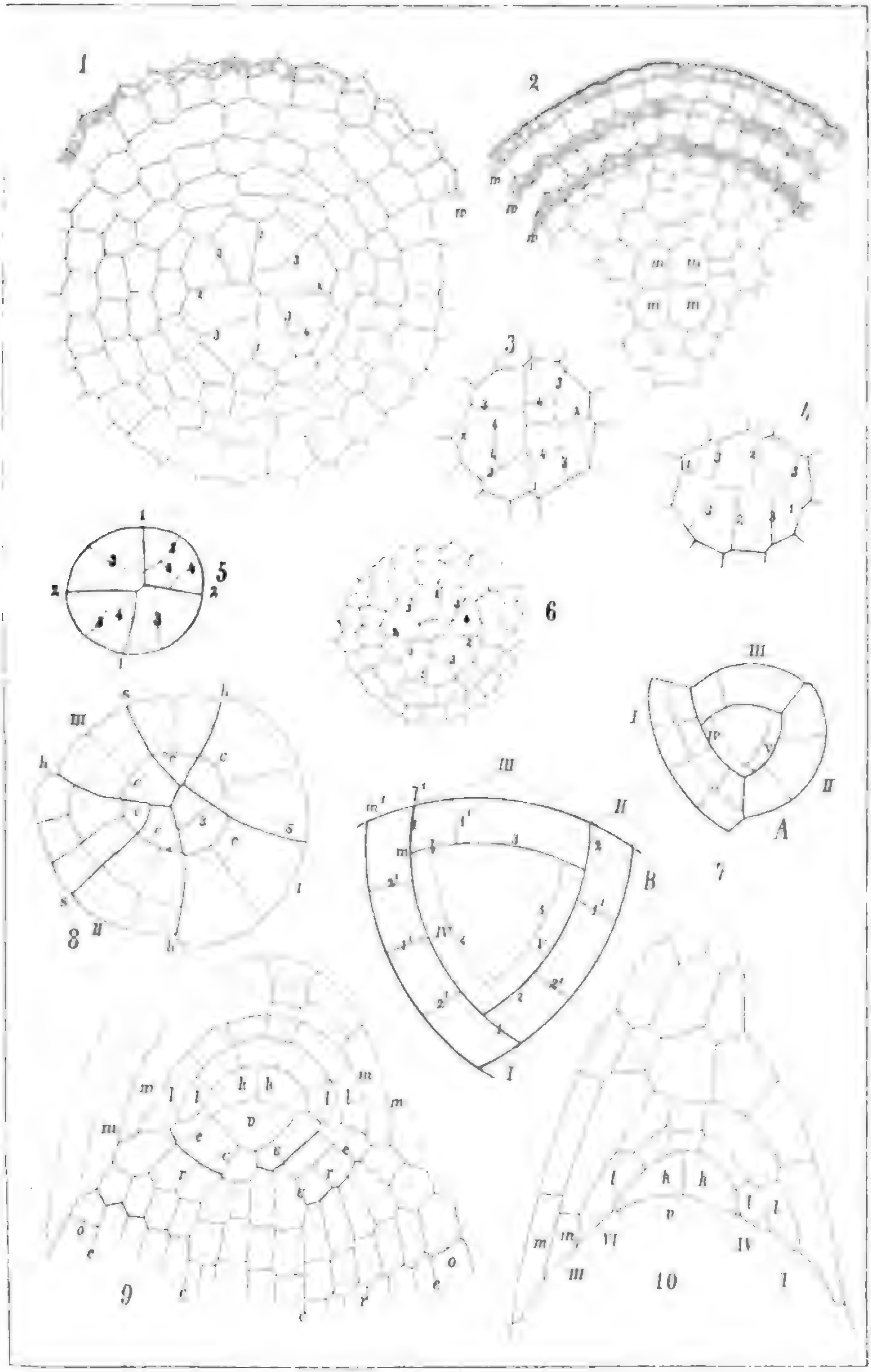

XIII
X
VII
IV
I

6

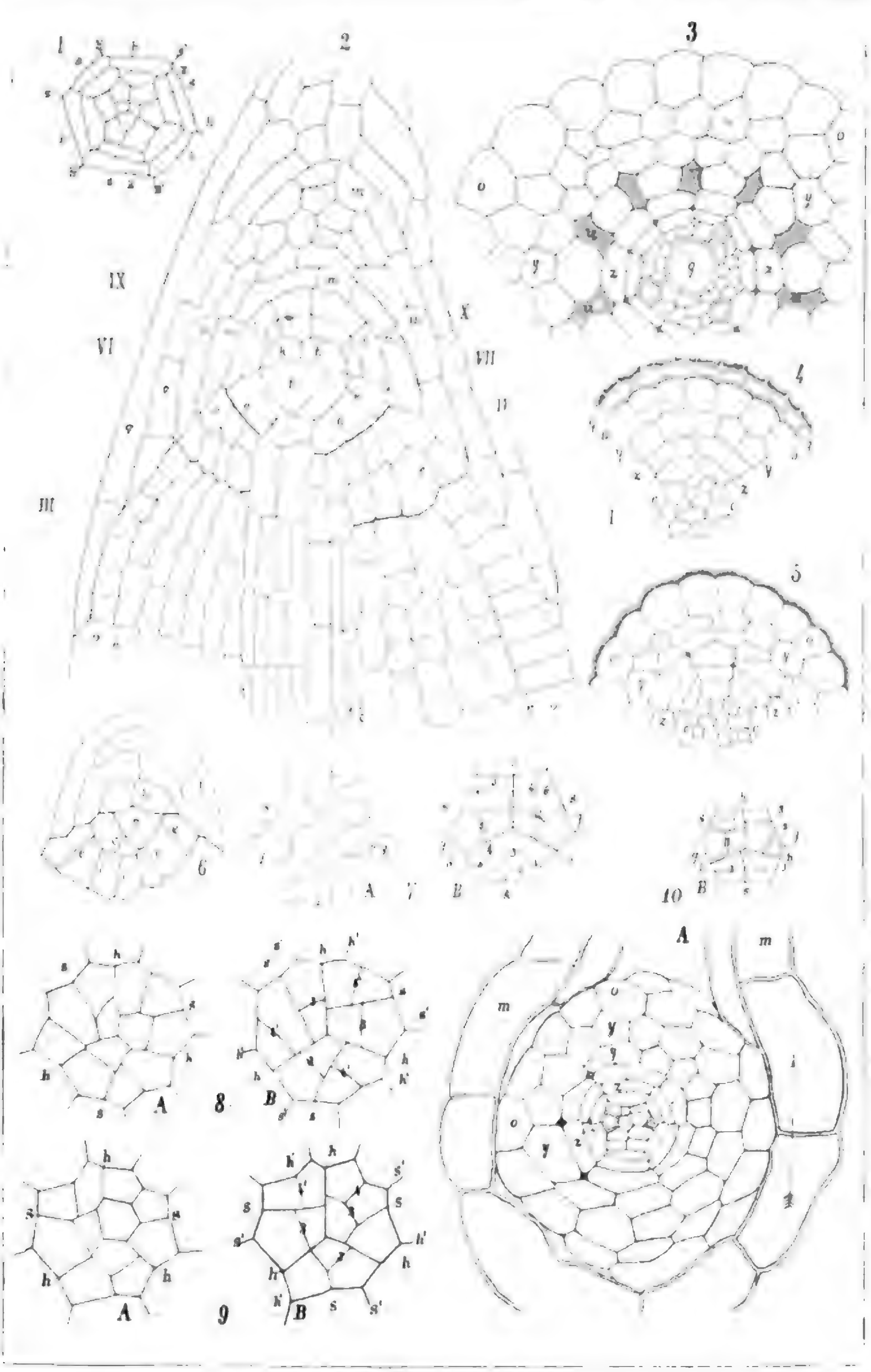

XVI
XIII
X
VII
IV
I
XV
XII
IX
VI
III
q
n
m
l
k
e
f
d
VI
IV
III
I

7


h
a
r
e
h
r
e
s
r
o
s
r
e
c
h

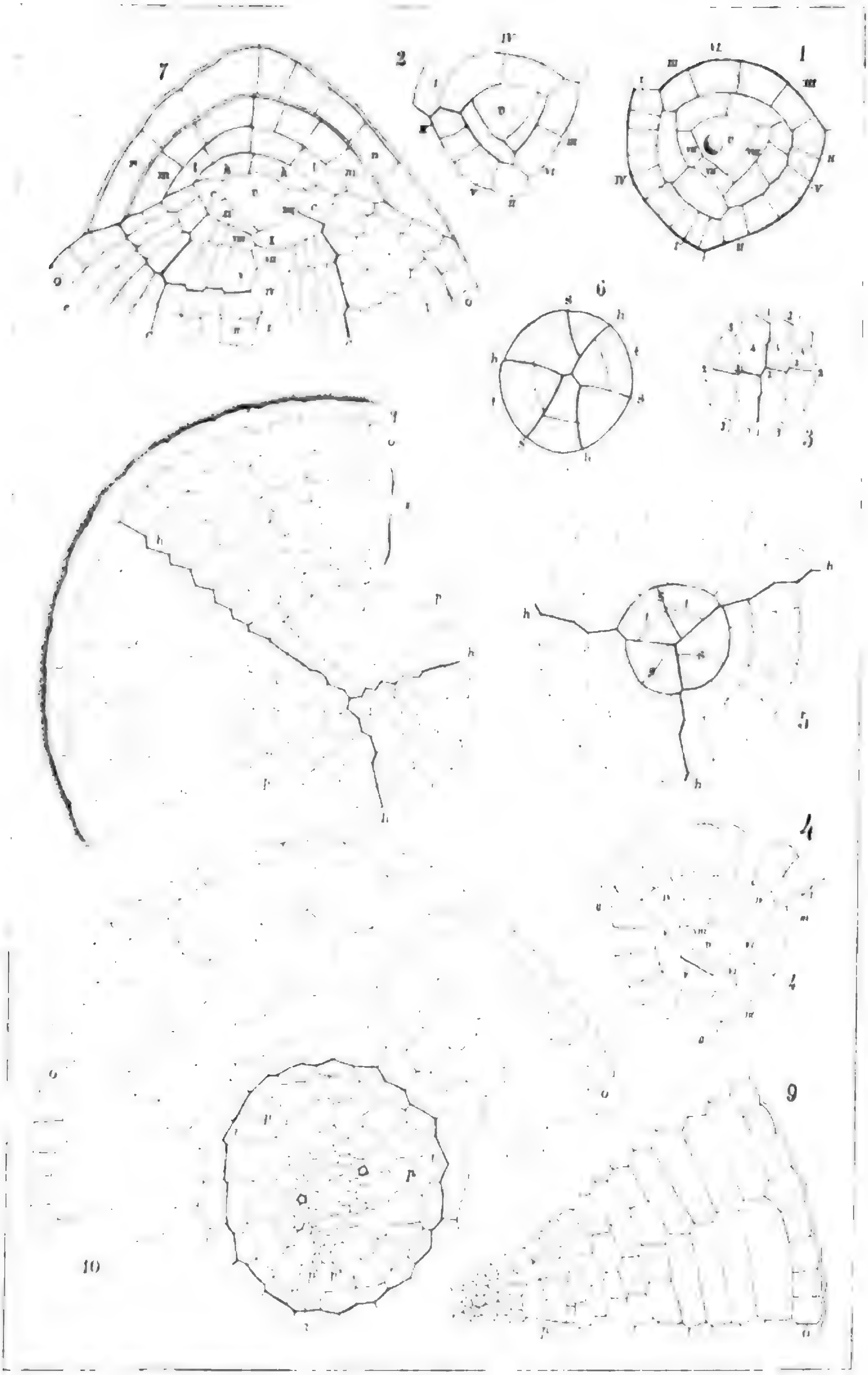

1
m
2
m
m
m
m m
m m
3
4
5
6
7
A
B
I
II
III
IV
V
8
m
h
s
c
9
m
l
h
v
e
c
r
o
10
m
l
h
v
I
III
IV
VI

Equisetum.


1
2
3
4
5
6
7
A
B
8
9
10
IX
VI
VII
III
X
o
y
z
q
m
h
s
h'
s'
A
B
i

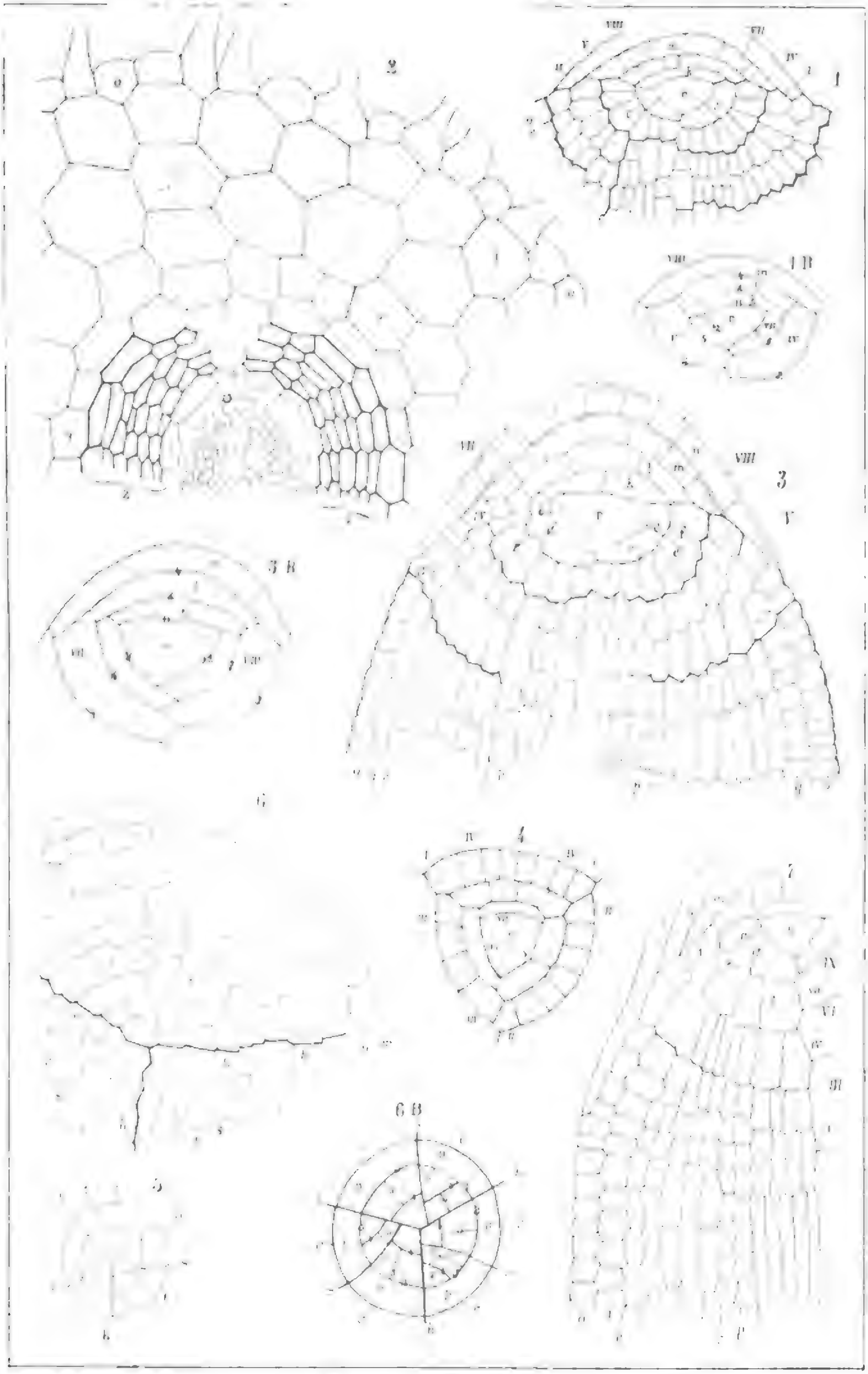
Equisetum.

XIV.



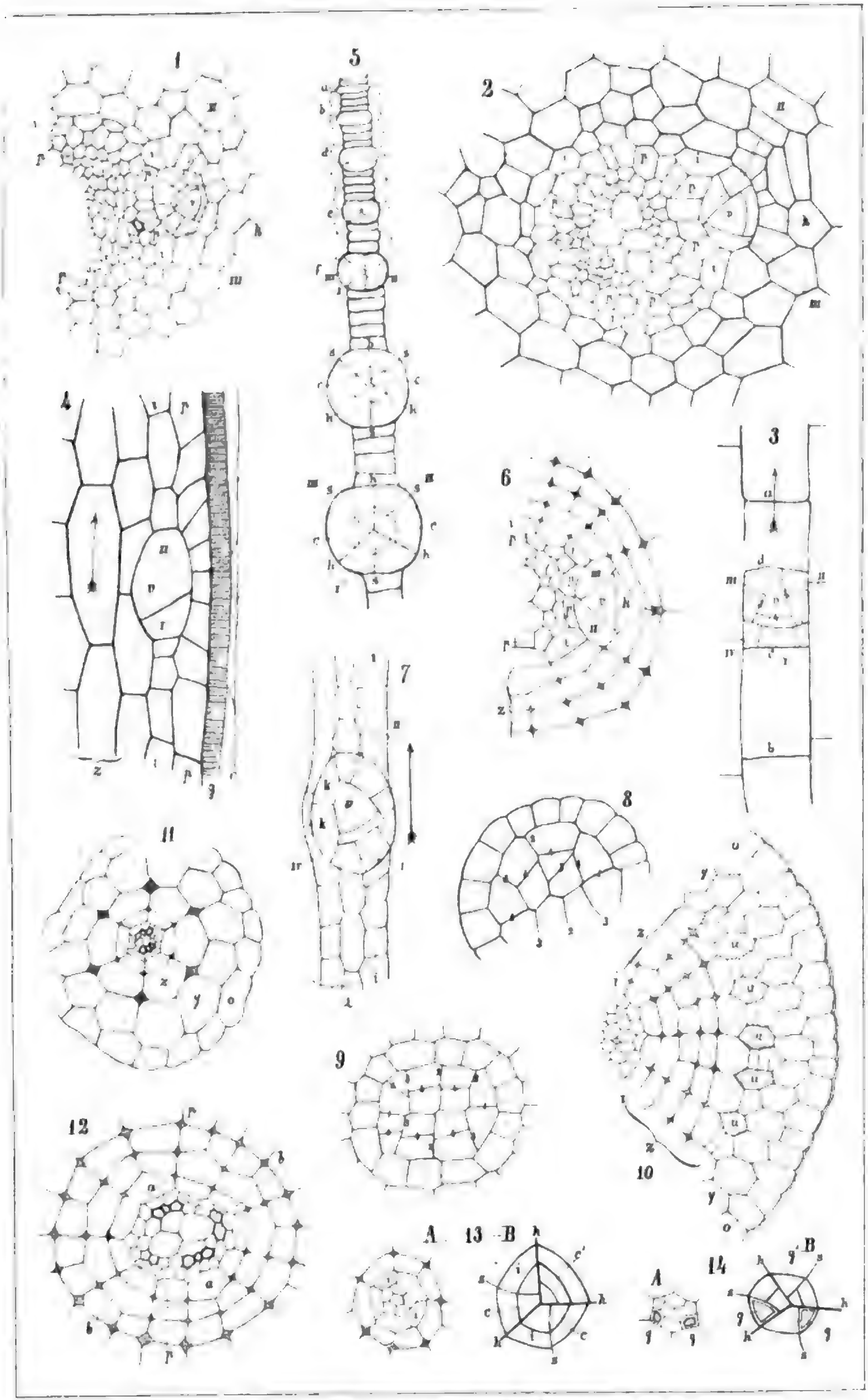
7
2
1
6
3
5
4
9
10
o
h
p

Polypodiaceae.


2
VIII
VII
V
IV
1
1 B
VIII
VII
VIII
3
V
3 B
VII
VIII
6
4
7
IX
VI
5
6 B

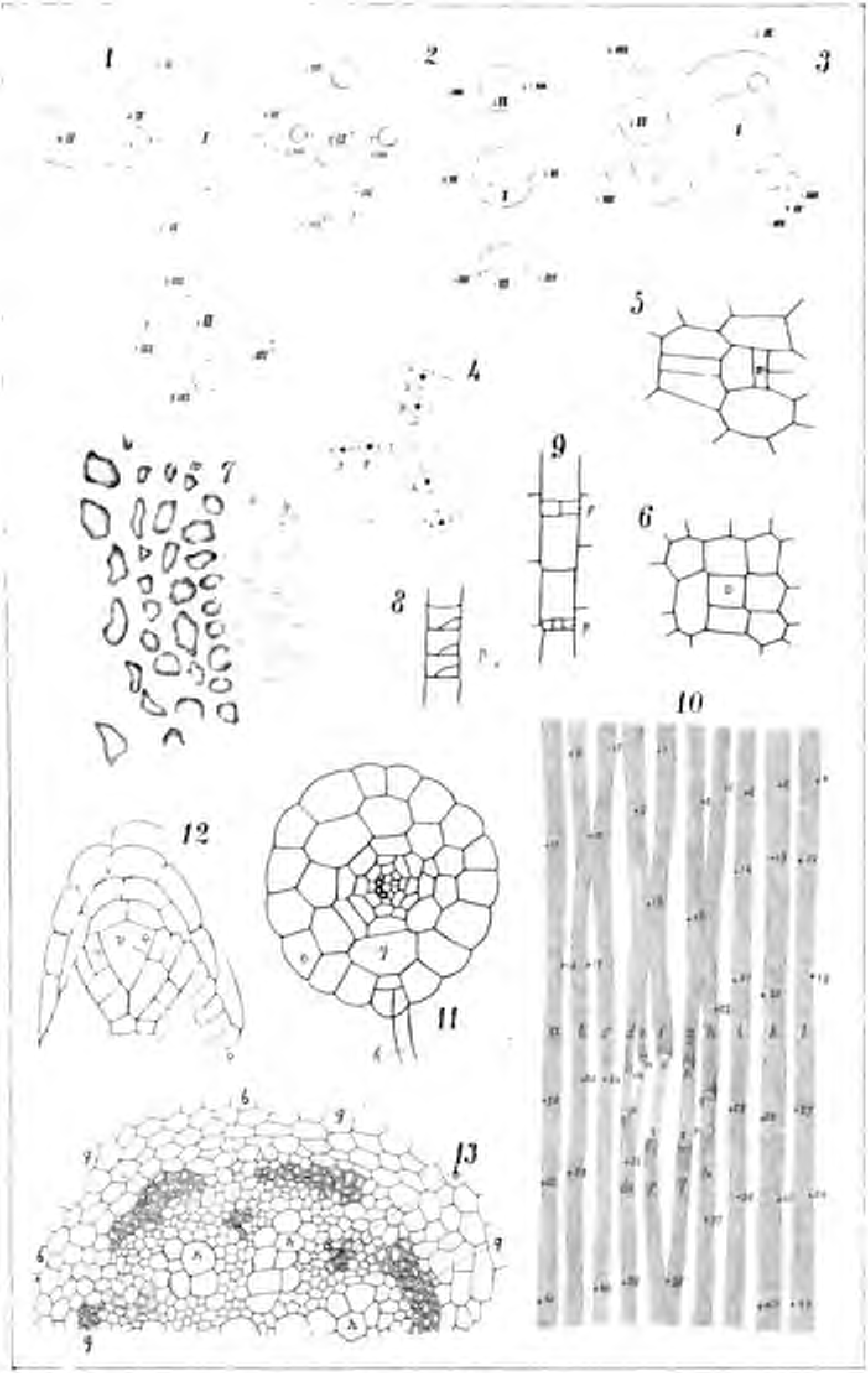
Polypodiaceae.

XVI.

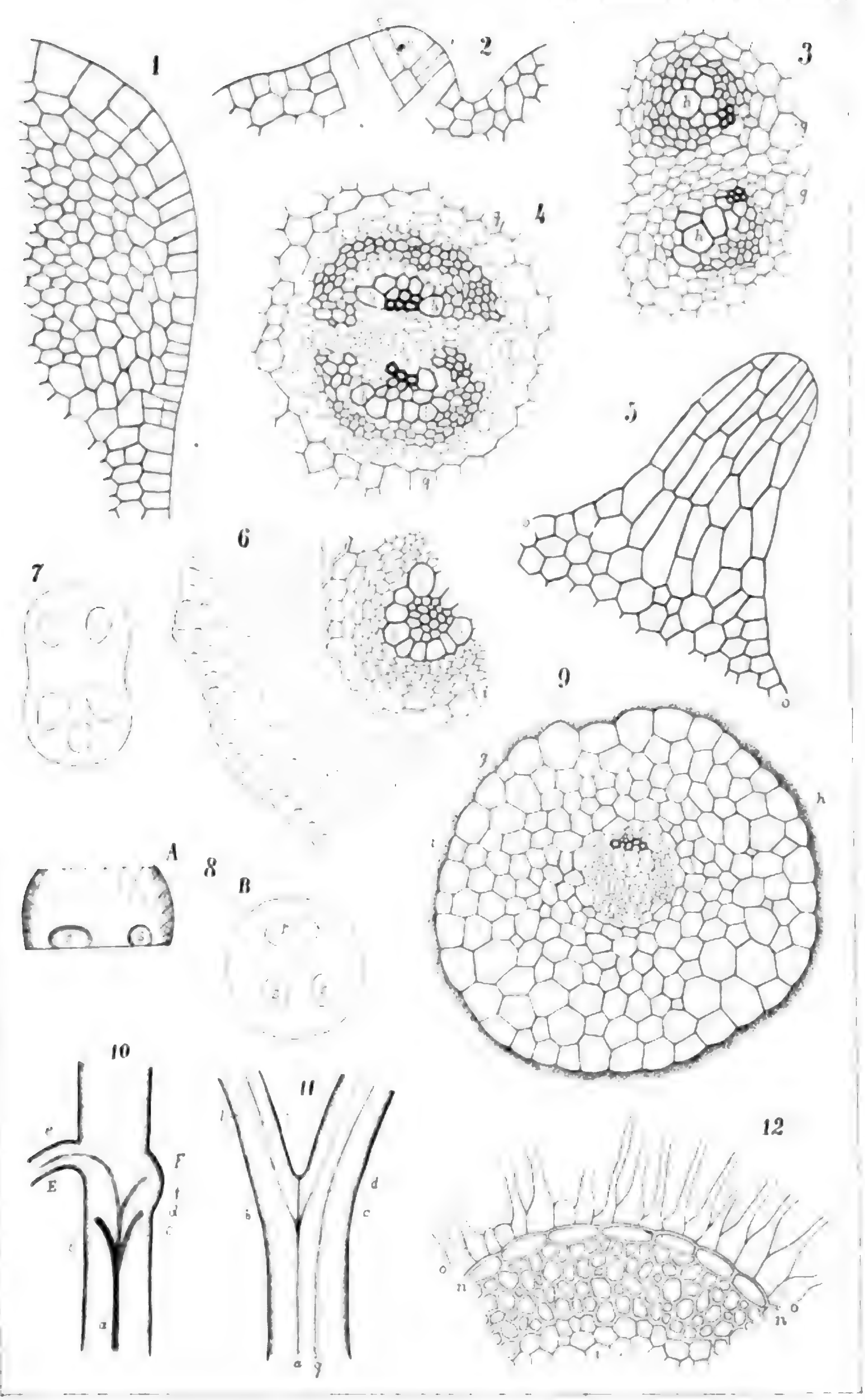

1
5
2
4
3
6
7
8
11
10
9
12
A
13
B
A
14
B

1-4 Polÿpodiaceae. 5-12 Marsilia.

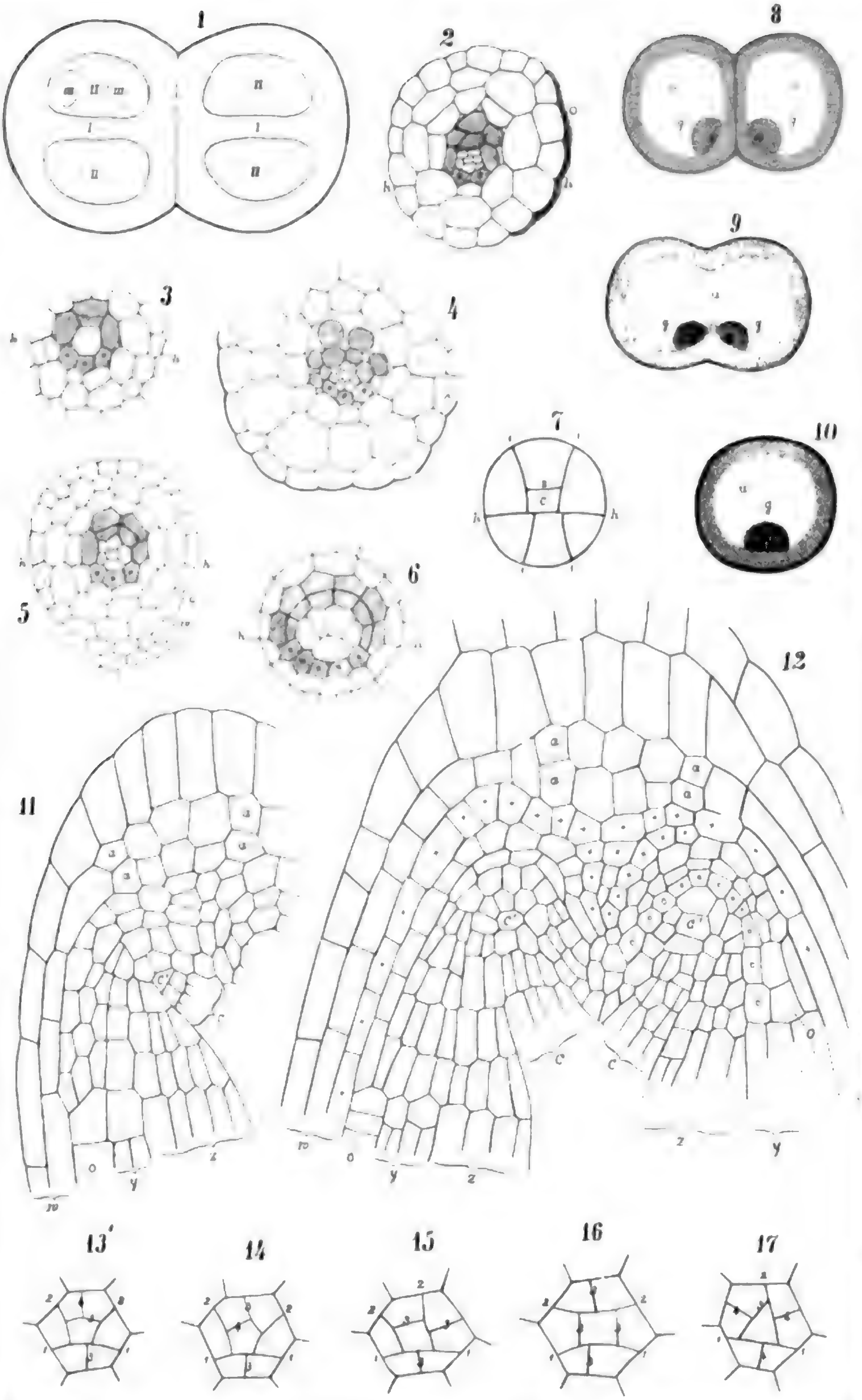
XVII.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Lycopodium.

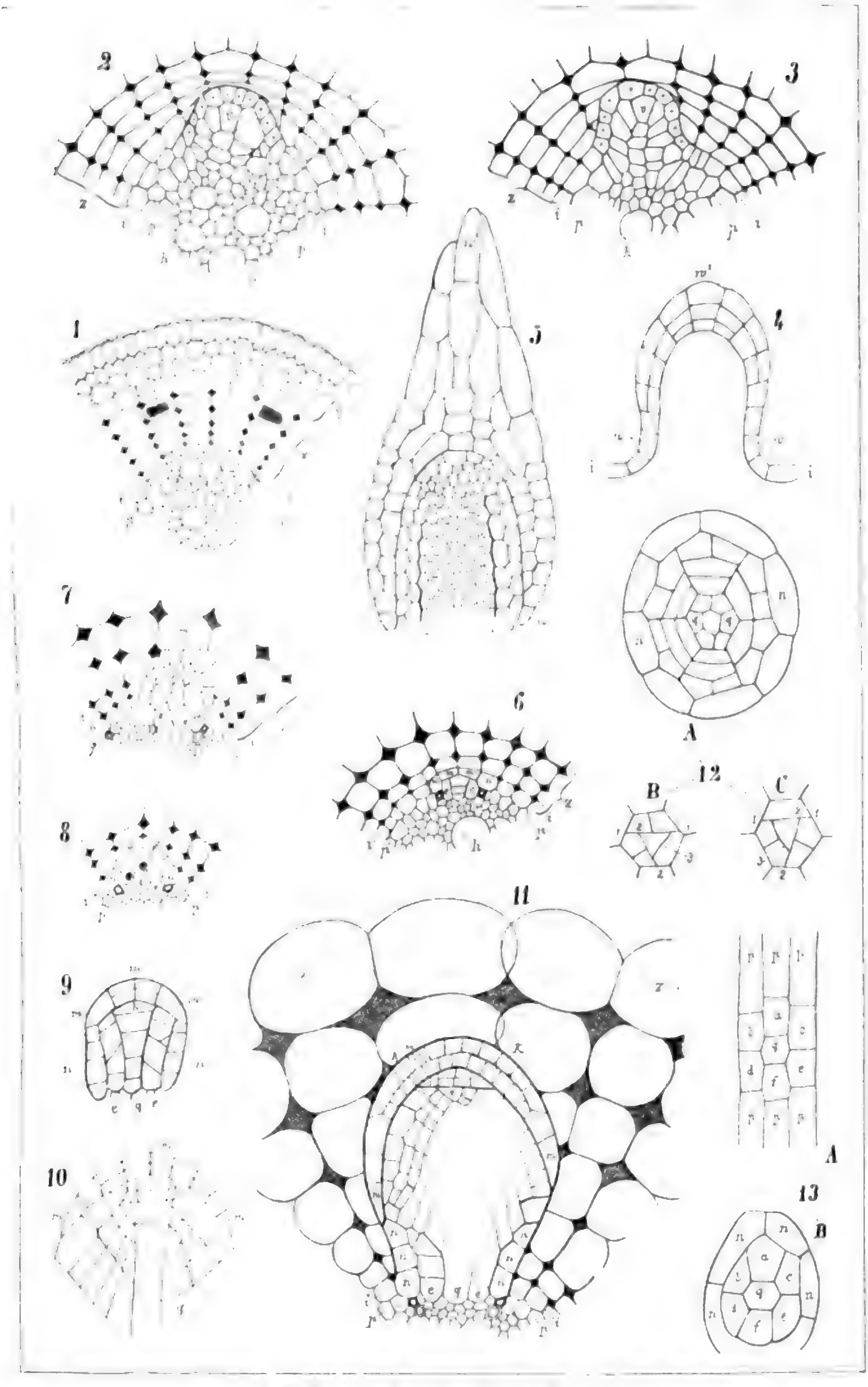

1
2
3
h
g
g
h
4
g
g
5
o
6
7
o
9
g
h
i
A
8
B
10
e
E
F
f
d
c
a
11
b
d
c
a
g
12
o
n
n
o

Selaginella.


1
m
II
m
n
l
l
II
n
2
o
h
h
8
g
g
9
u
g
g
3
h
h
4
5
h
h
c
w
6
h
7
c
h
h
10
u
g
11
a
a
a
a
c'
c
o
y
z
w
12
a
a
a
a
c'
c'
c
c
c
c
o
w
o
y
z
z
y
13'
2
2
1
1
3
14
2
2
1
1
3
15
2
2
1
1
16
2
2
1
1
17
2
1
1

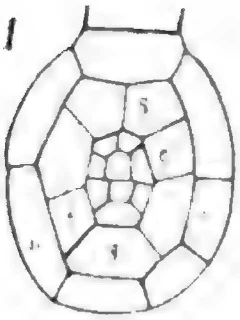
Isoëtes.

XX.


2
3
z
i
p
h
1
5
4
w'
i
n
A
q
7
6
12
B
C
8
11
9
m
n
e
q
10
z
k
A
13
B
a
b
c
d
e
f
q
n

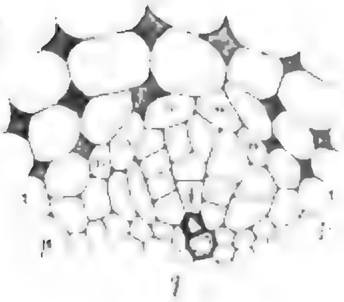
1-5 Pontederia 6-14 Orÿza.

1

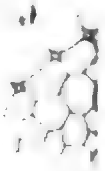


2

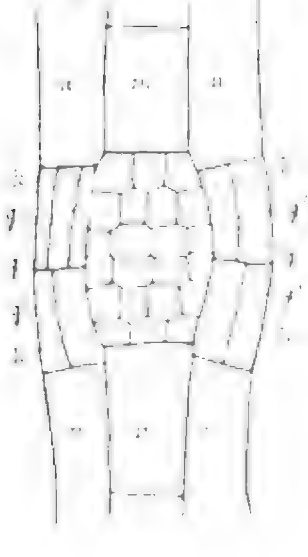
3



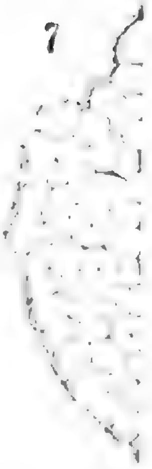
5



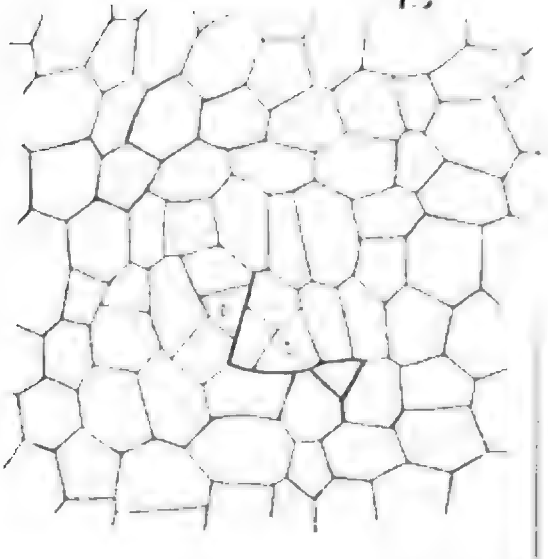
6

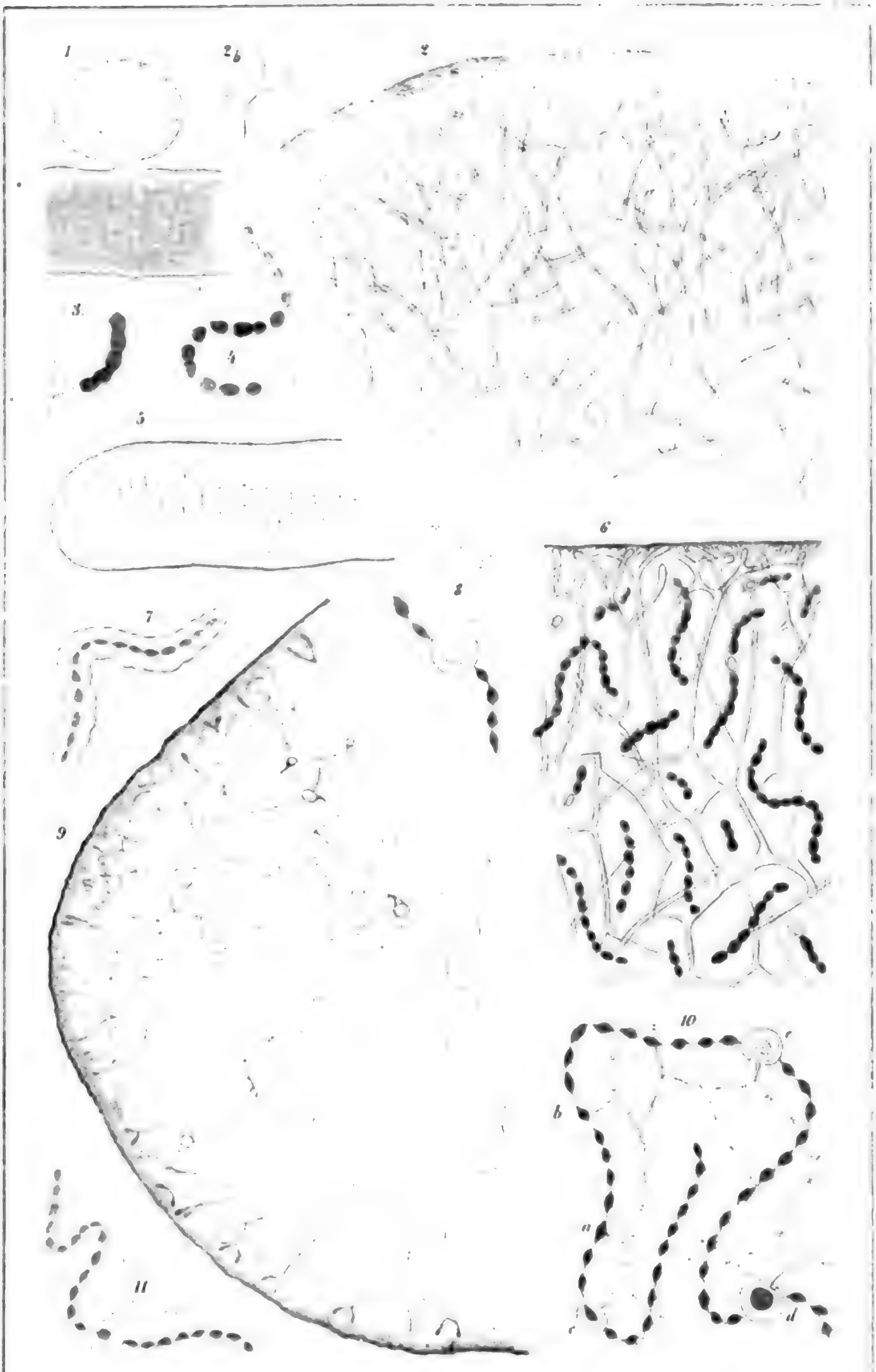


7



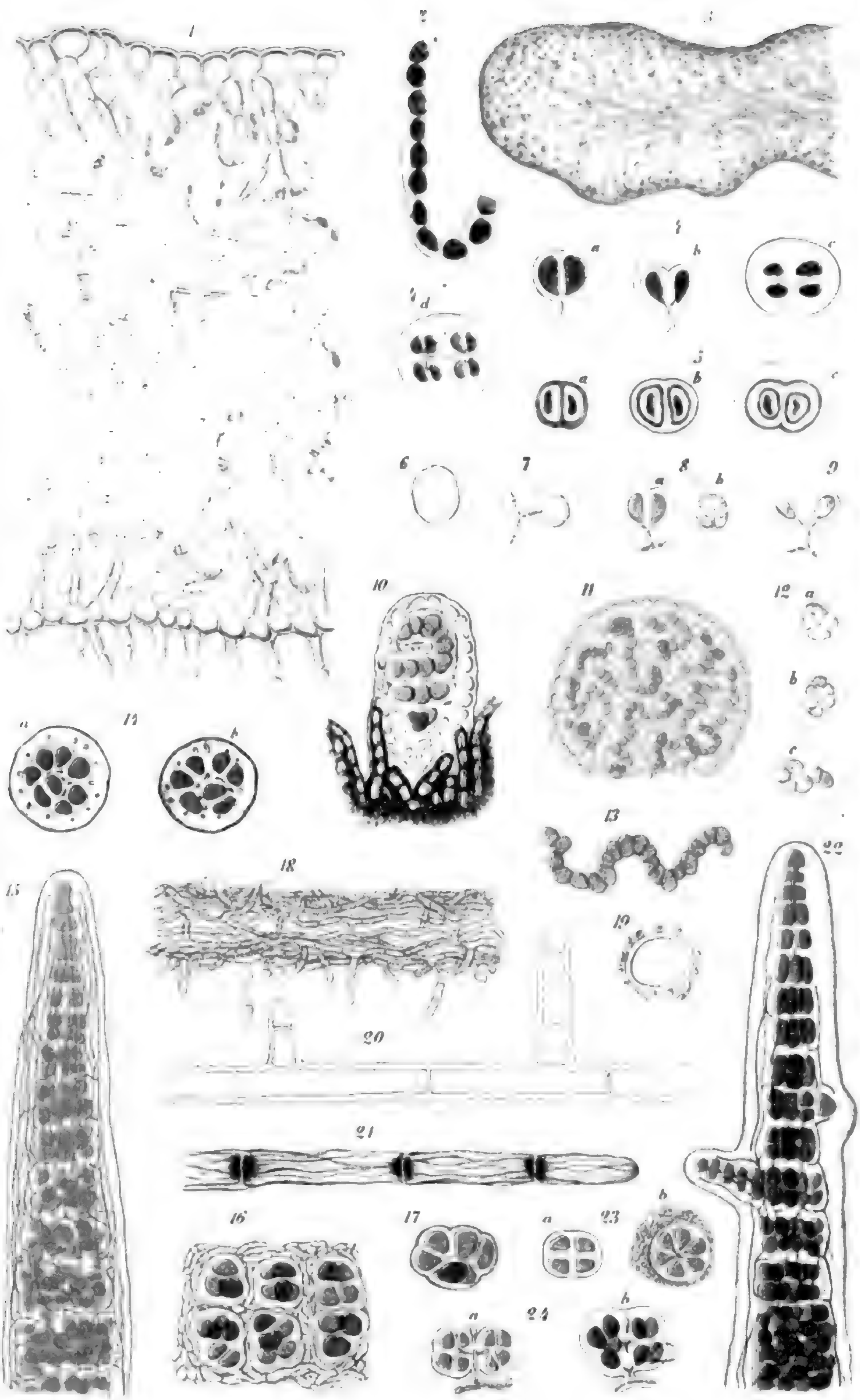
12




1
2b
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
a
b
c
d

1–7 Collema. 8–11 Lempholemma.

XVIII.


1
2
3
4
a
b
c
4d
5
a
b
c
6
7
8
a
b
9
10
11
12
a
b
c
14
a
b
13
15
18
22
19
20
21
16
17
23
a
b
24
a
b

Mallotium 2 Leptogium. 3-5 Omphalaria. 6-9 Phylliscum.
10-13 Lecothecium. 14-17 Ephebe. 18-21 Coenogonium.
22 Spilonema 23-24 Psorotichia.

QK
3
N14

DATE DUE

BUCHBINDEREI
VON
GEBRÜDER HUG
ZÜRICH